



Universidad Nacional Mayor de San Marcos

Universidad del Perú. Decana de América

Facultad de Ciencias Físicas

Escuela Académico Profesional de Ingeniería Mecánica de

Fluidos

**Planteamiento de solución a la problemática de las
aguas residuales de Arequipa metropolitana y diseño
de emisores**

MONOGRAFÍA TÉCNICA

Para optar el Título Profesional de Ingeniero Mecánico de Fluidos

AUTOR

Max Rogger ROBLES RÁZURI

ASESOR

Ing. Edmundo D. RENDÓN VÁSQUEZ

Lima, Perú

2010



Reconocimiento - No Comercial - Compartir Igual - Sin restricciones adicionales

<https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/>

Usted puede distribuir, remezclar, retocar, y crear a partir del documento original de modo no comercial, siempre y cuando se dé crédito al autor del documento y se licencien las nuevas creaciones bajo las mismas condiciones. No se permite aplicar términos legales o medidas tecnológicas que restrinjan legalmente a otros a hacer cualquier cosa que permita esta licencia.

Referencia bibliográfica

Robles, M. (2010). *Planteamiento de solución a la problemática de las aguas residuales de Arequipa metropolitana y diseño de emisores*. Monografía Técnica para optar el título profesional de Ingeniero Mecánico de Fluidos. Escuela Académico Profesional de Ingeniería Mecánica de Fluidos, Facultad de Ciencias Físicas, Universidad Nacional Mayor de San Marcos, Lima, Perú.



DEDICATORIA

El presente trabajo está dedicado a todas aquellas personas que me apoyaron incondicionalmente durante mi formación académica en la Universidad, cabe mencionar a mis padres Carlos y Clara, mis hermanos Carlos, Clara e Hilda, mis tíos y primos, a mi querida Lilibeth y mi pequeña Clarita; y aquellas personas y amigos que han contribuido y siguen contribuyendo en mi desarrollo profesional.

A nuestra universidad por habernos otorgado tan valioso tesoro.

Max Robles Rázuri



Monografía Técnica:

**PLANTEAMIENTO DE SOLUCIÓN A PROBLEMÁTICA DE LAS
AGUAS RESIDUALES DE AREQUIPA METROPOLITANA
Y DISEÑO DE EMISORES**

Para optar el título profesional de Ingeniero Mecánico de Fluido

Elaborado por:

**BACHILLER EN INGENIERIA MECÁNICA DE FLUIDOS
MAX ROGGER ROBLES RÁZURI**

Asesorado por:

ING. EDMUNDO D. RENDÓN VÁSQUEZ



INDICE GENERAL

RESUMEN	i
I. INTRODUCCIÓN	1
II. OBJETIVOS	2
2.1 OBJETIVO DEL PROYECTO	2
2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS	2
2.3 OBJETIVO DEL ESTUDIO	3
2.4 OBJETIVO DE LA MONOGRAFÍA	3
III. CONCEPTOS FUNDAMENTALES	3
3.1 AGUAS RESIDUALES	3
3.2 AGUAS RESIDUALES DOMÉSTICAS (ARD)	4
3.3 COMPOSICIÓN, CARACTERÍSTICAS FÍSICOQUÍMICAS Y BIOLÓGICAS DEL AGUA RESIDUAL	5
IV. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	6
4.1 PTAR CHILPINA	7
4.2 VERTIMIENTO CRUDO DE AGUAS SERVIDAS	7
V. POBLACIÓN Y DEMANDA	8
5.1 POBLACIÓN	8
5.2 DEMANDA	9
5.3 VARIACIÓN DE CONSUMO	9
VI. ALTERNATIVAS DE PROCESOS PARA EL TRATAMIENTO DE LAS AGUAS RESIDUALES	15
6.1 PROCESOS DE TRATAMIENTO EXTENSIVO	15
6.2 PROCESOS DE TRATAMIENTO INTENSIVO	16
6.3 PROCESO DE TRATAMIENTO SEMI-INTENSIVO.	16
VII. ALTERNATIVAS DEL SISTEMA DE EMISORES Y TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES	17



7.1	COLECTORES EXISTENTES	17
7.2	COLECTORES EN PROYECTO	18
7.3	OTROS COLECTORES	19
7.4	SISTEMA ACTUAL DE DESAGÜES Y AGUAS RESIDUALES	19
VIII. CARACTERIZACIÓN DEL AGUA RESIDUAL		22
IX. CALIDAD A OBTENER EN LOS EFLUENTES		23
X. PLANTEAMIENTO DE ALTERNATIVAS PARA LA CONDUCCIÓN Y EL TRATAMIENTO DE LAS AGUAS RESIDUALES		24
10.1	DESTINO FINAL DE LOS EFLUENTES TRATADOS	27
10.2	CONSIDERACIONES DE DISEÑO PARA EL TRAZO DEL SISTEMA DE EMISORES	28
10.3	SELECCIÓN DE ALTERNATIVAS PARA EL ESTUDIO	29
XI. ESTUDIOS BÁSICOS		29
11.1	TOPOGRAFÍA	29
11.1.1	<i>Planeamiento</i>	29
11.1.2	<i>Nivelación</i>	31
11.1.3	<i>Triangulación y trilateración</i>	32
11.1.4	<i>Planos topográficos</i>	33
11.2	GEOLOGÍA - GEOTECNIA	34
11.2.1	<i>Geología</i>	34
11.2.1.1	<i>Ubicación</i>	34
11.2.1.2	<i>Regional</i>	34
11.2.1.3	<i>Estratigrafía</i>	36
11.2.1.4	<i>Rocas Ígneas Intrusivas</i>	39
11.2.1.5	<i>Geomorfología y Geodinámica Externa</i>	39
11.2.1.6	<i>Geología estructural</i>	41
11.2.1.7	<i>Hidrogeología</i>	42
11.2.1.8	<i>Local</i>	44
11.3	GEOTECNIA	61
11.3.1	<i>Características Geotécnicas de los materiales de Fundación</i>	63
11.3.2	<i>Capacidad Portante</i>	64
11.3.3	<i>Análisis de Asentamientos</i>	70
11.4	PELIGRO SÍSMICO	73



11.4.1	<i>Historia Sismica del área de Influencia</i>	73
11.4.2	<i>Rasgos Sismotectónicos</i>	75
11.4.3	<i>Sismotectónica Regional</i>	76
11.4.4	<i>Determinación del Peligro Sísmico</i>	79
11.5	HIDROLOGÍA	82
11.5.1	<i>Objetivo</i>	82
11.5.2	<i>Área y Alcances del Proyecto</i>	83
11.5.3	<i>Cuenca del Río Chili</i>	83
11.5.4	<i>Precipitación Máximas</i>	84
11.5.5	<i>Zonas de Vida</i>	84
11.5.6	<i>Análisis de Frecuencia de Avenidas</i>	85
11.5.7	<i>Quebrada en el Sitio B</i>	85
11.5.8	<i>Caudal de Diseño</i>	86
11.5.9	<i>Aplicación HEC – RAS</i>	86
11.5.10	<i>Socavación</i>	86
11.5.10.1	<i>Generalidades</i>	86
11.5.10.2	<i>Cálculo del Ancho Efectivo del Cauce</i>	87
11.5.10.3	<i>Cálculo de la Socavación</i>	87
XII.	DISEÑO DEL SISTEMA DE CONDUCCIÓN DE AGUAS RESIDUALES	91
12.1	LÍNEA DE EMISOR TUNALES	91
12.2	OBRAS DE ARTE	97
XIII.	MEMORIA DE CÁLCULO ESPECIALIDAD HIDRÁULICA/SANITARIA	100
13.1	EMISOR TUNALES	100
13.2	OBRAS DE ARTE	110
13.2.1	<i>Llegada del Emisor a la Planta de Tratamiento</i>	110
13.2.2	<i>Acueducto</i>	110
XIV.	CONCLUSIONES	113
XV.	RECOMENDACIONES	114
XVI.	BIBLIOGRAFÍA	115



INDICE DE CUADROS

Cuadro N° 1:	Proyección de Población y Contribución de Aguas Residuales - Tunales	13
Cuadro N° 2:	Proyección de Población y Contribución de Aguas Residuales - Cono Norte	14
Cuadro N° 3:	Caudales de Diseño para los Principales Colectores de Arequipa al 2036	21
Cuadro N° 4:	Alternativas para Sistema Emisores y PTAR de Arequipa Metropolitana	26
Cuadro N° 5:	Destino Final de Efluentes Tratados	27
Cuadro N° 6:	Descripción de hitos de Poligonal de Apoyo Planta Los Tunales	31
Cuadro N° 7:	Descripción de hitos de Poligonal de Apoyo Planta Escalerilla	32
Cuadro N° 8:	Descripción de Hito de control Altimétrico Planta Tunales	32
Cuadro N° 9:	Descripción de Hito de control Altimétrico Planta Escalerilla	32
Cuadro N° 10:	Capacidad Portante: Planta Tunales	68
Cuadro N° 11:	Capacidad Portante: Planta Escalerilla	69
Cuadro N° 12:	Capacidad Portante: Acueducto y Emisores	70
Cuadro N° 13:	Cálculo de la Capacidad Admisible por Asentamiento Tunales	71
Cuadro N° 14:	Cálculo de la Capacidad Admisible por Asentamiento Tunales	72
Cuadro N° 15:	Cálculo de la Capacidad Admisible por Asentamiento Emisor Alata-Tunales	73
Cuadro N° 16:	Máximas Avenidas	80
Cuadro N° 17:	Ventajas y Desventajas de los Diferentes Materiales para Conductos	82
Cuadro N° 18:	Datos para Cálculo Hidráulico de Conductos a Gravedad	82
Cuadro N° 19:	Caudales de Diseño	85
Cuadro N° 20:	Ventajas y Desventajas de los Diferentes Materiales para Conductos	91
Cuadro N° 21:	Datos para Cálculo Hidráulico de Conductos a Gravedad Emisor Tunales	101
Cuadro N° 22:	Datos para Cálculo Hidráulico de Conductos a Gravedad Emisor Escalerilla	102
Cuadro N° 23:	Caudales de Diseño	112



INDICE DE FIGURAS

Figura N° 1:	Composición media de las ARD	5
Figura N° 2:	Sectorización según Red de Alcantarillado de la Ciudad de Arequipa	8
Figura N° 3:	Puntos de Vertimientos Principales de Desagües Arequipa Metropolitana	20
Figura N° 4:	Mapa de Ubicación del Área de Estudio del Proyecto	34
Figura N° 5:	Emisor Alata-Tunales / Modelo Digital	45
Figura N° 6:	Emisor Alata-Tunales / Mapa de Pendientes	46
Figura N° 7:	Planta Tunales / Modelo Digital	47
Figura N° 8:	Planta Tunales / Mapa de Pendientes	48
Figura N° 9:	Mapa Geológico Sitio B	50
Figura N° 10:	Mapa Geológico de Pampa La Escalerilla	58
Figura N° 11:	Sección Geológica 01 (NW-SE), Pampa la Escalerilla	60
Figura N° 12:	Sección Geológica 02 (SW-NE), Pampa la Escalerilla	60
Figura N° 13:	Modificaciones de las Ecuaciones de Capacidad de Carga por Presencia de Nivel Freático	66
Figura N° 14:	Emisor Alata - Tunales (Sitio B)	103

INDICE DE TABLAS

Tabla N° 1:	Contaminantes en el agua residual	4
Tabla N° 2:	Composición típica del ARD	6
Tabla N° 3:	Calculo de Población para el Sector del Cono Norte	10
Tabla N° 4:	Población de Diseño de las Plantas de Tratamiento	11
Tabla N° 5:	Caracterización de las Aguas Residuales de la Ciudad De Arequipa	22
Tabla N° 6:	Parámetros Propuestos a Obtener en el Tratamiento	24
Tabla N° 7:	Identificación de los Materiales de Cimentación	64
Tabla N° 8:	Zonas de Vida Identificadas en a cuenca del Río Chili	84
Tabla N° 9:	μ = Coeficiente de Contracción	88
Tabla N° 10:	Coeficiente en función del periodo de retorno	88
Tabla N° 11:	$/(1+x)$ (Valor en función del Dm)	89
Tabla N° 12:	Normas Internacionales para el recubrimiento mínimo de tuberías	94
Tabla N° 13:	Separación Máxima entre Buzones	96



PLANTEAMIENTO DE SOLUCIÓN A PROBLEMÁTICA DE LAS AGUAS RESIDUALES PARA AREQUIPA METROPOLITANA Y DISEÑO DE EMISORES

RESUMEN

El presente proyecto fue desarrollado en la provincia de Arequipa, el cual comprendió los estudios a nivel de ingeniería básica de la alternativa seleccionada de un total de catorce (14) como la mejor técnica y económicamente, que cumpla el propósito de recolectar, conducir y tratar las aguas residuales que actualmente son vertidas directamente al río Chili sin ningún tipo de tratamiento previo.

La primera fase del proyecto comprendió la identificación de los principales puntos de vertimiento de las aguas residuales al río Chili (que son los principales causantes de las enfermedades gastrointestinales en la provincia) evaluando el grado de contaminación y contenido de materia orgánica mediante la extracción directa de muestras. Se identificaron tres (3) puntos de relevante importancia donde actualmente se vierten las aguas residuales al río los cuales son: colector Alata, colector Arancota y colector Huaranguillo, respectivamente desde aguas arriba hacia aguas abajo.

Posteriormente se identificaron los posibles sitios de ubicación para la planta de tratamiento y los trazos preliminares del sistema de intercepción y conducción de las aguas residuales.

Las alternativas propuestas comprendieron diferentes sistemas de tratamiento según las áreas aprovechables. Se propuso como alternativas la implementación de tres (3), dos (2) y una (1) planta para dar solución al problema de los vertimientos.

La alternativa recomendada técnica y económicamente comprende dos plantas de tratamiento, una ubicada en el denominado Sitio B (Tunales) y otra ubicada en la pampa Escalerilla denominada planta Escalerilla, realizando sobre esta los estudios básicos (topografía, geología, geotecnia, hidrología, ambiental) y los diseños a un nivel de ingeniería básica (Plantas de Tratamiento y sus emisores).



La planta del Sitio B se encuentra ubicada en la margen izquierda del río Chili, en una terraza ubicada aproximadamente a 500 metros del Sector Los Tunales en el distrito de Tiabaya. El agua residual a ser tratada en esta planta llega a través de un interceptor de 5,239.9 metros de longitud, cuyo diámetro varía entre 1.8 y 1.9 metros. Este emisor (interceptor) como punto de inicio la caja colectora existente del colector Alata en la margen izquierda del río Chili, el trazo se dispone perpendicularmente al río Chili, cruzándolo mediante un acueducto de 360 metros de longitud hacia la margen derecha donde intercepta al colector Arancota continuando su recorrido por la Av. Arancota (Ex - carretera Panamericana) hasta la progresiva 1+800 donde se dispone hacia la izquierda por una serie de terrenos de cultivo y caminos existentes hasta interceptar en esta misma margen al colector Huaranguillo. Desde el inicio del colector en Alata hasta el colector Huaranguillo el colector proyectado (interceptor) tiene un diámetro de 1.8m. A partir de este punto el colector adopta un diámetro de 1.9m hasta llegar al sitio de la Planta.

El Emisor (interceptor) está provisto de buzones espaciado como máximo cada 150 metros. Como ya se ha mencionado en párrafos anteriores, las estructuras tanto la Planta del Sitio B (Los Tunales) como el emisor proyectado se encuentra en la margen del río (en el caso de la Planta) o cruzándolo (en el caso del emisor) necesitando realizar un estudio de máximas avenidas así como de un análisis de inundaciones ocasionadas por estas, motivo de la presente trabajo.

De igual manera se presentará los criterios y cálculos justificativos para el diseño del emisor proyectado.

Cabe mencionar que el tesista además de estar encargado de la supervisión de los trabajos de campo de los estudios básicos, participo en la elaboración del estudio hidrológico, análisis de inundaciones, trazo y diseño del colector.



I. INTRODUCCIÓN

En términos generales, la población peruana no cuenta en su totalidad con los servicios básicos de saneamiento ni agua potable. Además, las aguas residuales producidas son tratadas en un mínimo porcentaje, siendo las diferencias vertidas directamente a las principales corrientes de agua como son los ríos y los mares, generando impactos ambientales negativos, atentando directamente a la salubridad pública.

Arequipa, la segunda ciudad más importante después de la Capital del Perú, padece actualmente por la problemática de las aguas residuales. De la totalidad de aguas residuales producidas en Arequipa, solo el 11% (aproximadamente 130 lt/seg) son tratadas la planta de tratamiento de Chilpina en el distrito de Socabaya. La diferencia es vertida sin tratamiento previo al río Chili, lo que ha ocasionado un cambio drástico en la fauna y flora circundante.

La ciudad de Arequipa cuenta actualmente con una cobertura de alcantarillado sanitario del 81% para una población servida de 700,000 habitantes, que generan un caudal promedio de 1,026 l/s, vertidos al río Chili en 7 sitios principales. Además, las aguas servidas en el río Chili son utilizadas aguas abajo de su vertimiento para el riego de zonas agrícolas, lo que está perjudicando a los productores al ser sus productos rechazados por no superar los mínimos requerimiento de salubridad.

La empresa de servicio y agua potable y alcantarillado de Arequipa – SEDAPAR, y Sociedad Minera Cerro Verde, interesados en solucionar la problemática de las aguas residuales, convocan a concurso público internacional el “Estudio de Factibilidad e Ingeniería Básica del Sistema de Emisores y Tratamiento de Aguas Residuales de la Ciudad de Arequipa”. La buena pro le fue otorgado a TAHAL Consulting Engineers Ltd.

El “Estudio de factibilidad e Ingeniería Básica del Sistema de Emisores y Tratamiento de Aguas Residuales para Arequipa Metropolitana” se enmarcó dentro de los alcances del contrato que la consultora TAHAL Consulting Engineers Ltd, de Israel - Sucursal Perú suscribiera con la Sociedad Minera Cerro Verde S.A.A - SMCV en el mes de Noviembre del 2006, y bajo la supervisión inicial de la empresa Graña & Montero Ingeniería - GMI.



Durante la fase de estudios de pre-factibilidad, se plantearon alternativas de sitios de plantas y de conducción, procesos de tratamiento y disposición final de los efluentes a partir de parámetros técnicos básicos acorde con las normas sanitarias peruanas.

Se seleccionaron las cuatro mejores soluciones de las cuales se eligieron dos de ellas que fueron estudiadas a nivel de factibilidad para finalmente desarrollar la Ingeniería Básica de la alternativa seleccionada basada en dos (2) PTAR's, por presentar mejores indicadores en la evaluación social aplicando criterios del Sistema Nacional de Inversión Pública - SNIP. Estas dos plantas se encuentran ubicadas en los sitios más bajos de las cuencas de drenaje de los colectores y emisores actuales y futuros, en función a la demanda de la Ciudad.

El horizonte del proyecto es al año 2036 acorde a las proyecciones del Plan Maestro Optimizado de SEDAPAR, y su ejecución está prevista en dos etapas: la etapa inicial hasta el año 2020 con una cobertura del 95 % y sus obras para ejecutarse en los años 2010 y 2011; la segunda etapa con una cobertura del 98 % y sus obras para ejecutarse entre los años 2017 al 2019. La población servida para el año 2017 será de 959,147 habitantes, y para el año 2036 será de 1'488,423 habitantes que generará un caudal promedio diario del orden de 2,474 lps, y un máximo de 4,975 lps.

Con un adecuado tratamiento de las aguas servidas y disposición final de los efluentes se logrará la disminución de casos de enfermedades gastrointestinales, parasitarias y dérmicas y bajo riesgo de Contaminación Ambiental, cumpliéndose así el objeto del estudio.

II. OBJETIVOS

2.1 OBJETIVO DEL PROYECTO

La Disminución de los casos de enfermedades parasitarias y dérmicas así como la obtención de un bajo riesgo de contaminación ambiental, es el objetivo principal del Proyecto.

2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

Asimismo, los objetivos específicos son los siguientes:



- a. Adecuada infraestructura sanitaria con respecto a la demanda existente (cobertura del servicio).
- b. Adecuado sistema de conducción de aguas residuales hacia las Plantas.
- c. Adecuado sistema de tratamiento de aguas servidas.
- d. Cumplimiento de normas sanitarias ambientales en las industrias y comercios de Arequipa Metropolitana.

2.3 OBJETIVO DEL ESTUDIO

El objetivo del Estudio es el de presentar los diseños de la Ingeniería Básica del de la alternativa recomendada para la recolección, conducción y tratamiento de las aguas servidas.

2.4 OBJETIVO DE LA MONOGRAFÍA

El objetivo es presentar el planteamiento de alternativas de solución para el tratamiento de las aguas residuales de la ciudad de Arequipa Metropolitana y los diseños de los colectores principales para las aguas residuales.

III. CONCEPTOS FUNDAMENTALES

3.1 AGUAS RESIDUALES

Las aguas residuales crudas son las aguas procedentes de usos domésticos, comerciales, agropecuarios y de procesos industriales, o una combinación de ellas.

Los diversos tipos de aguas residuales reciben nombres descriptivos según su procedencia, siendo una de sus características típicas la presencia de sustancias consumidoras de oxígeno en comparación con el agua, por ejemplo, de un río. En la Tabla siguiente se puede observar los contaminantes presentes en el agua residual.



Tabla N° 1
Contaminantes en el agua residual

Contaminante	Fuente	Efectos causados por la descarga del agua residual en aguas superficiales
Sustancias que consumen oxígeno (MO* biodegradable).	ARD* y ARI* (proteínas, carbohidratos, grasas, aceites).	Agotamiento del oxígeno, condiciones sépticas.
Sólidos suspendidos	ARD y ARI; erosión del suelo.	Depósito de lodo; desarrollo de condiciones anaeróbicas.
Nutrientes: • Nitrógeno • Fósforo	ARD, ARI y ARA* ARD y ARI; descarga natural.	Crecimiento indeseable de algas y plantas acuáticas.
Microorganismos patógenos	ARD	Comunicación de enfermedades.
Materia tóxica • Metales pesados • Compuestos orgánicos tóxicos	ARI ARA y ARI	Deterioro del ecosistema; envenenamiento de los alimentos en caso de acumulación.
MO refractaria (Difícil de degradar biológicamente)	ARI (fenoles, surfactantes), ARD (surfactantes) y ARA (pesticidas, nutrientes); materia resultante del decaimiento de la MO.	Resisten el tratamiento convencional, pero pueden afectar el ecosistema.
Sólidos inorgánicos disueltos • Cloruros • Sulfuros • Ph	Abastecimiento agua, uso agua, infiltración ARD y ARI ARI	Incremento del contenido de sal.
Olores: H ₂ S	Descomposición de ARD	Molestia pública

*MO; Materia orgánica *ARD: Aguas residuales domésticas *ARI: Aguas residuales industriales; *ARA: Aguas residuales agrícolas.

3.2 AGUAS RESIDUALES DOMÉSTICAS (ARD)

En la práctica no existe una clara distinción entre las ARD y las aguas residuales municipales, aunque últimamente incluyen una cantidad desconocida de agua residual industrial. En algunas ciudades, el componente industrial excede el 50 %.

Las ARD se generan a partir de distintas fuentes. Algunas de sus características se presentan en la Fig. 1y la Tabla 2.

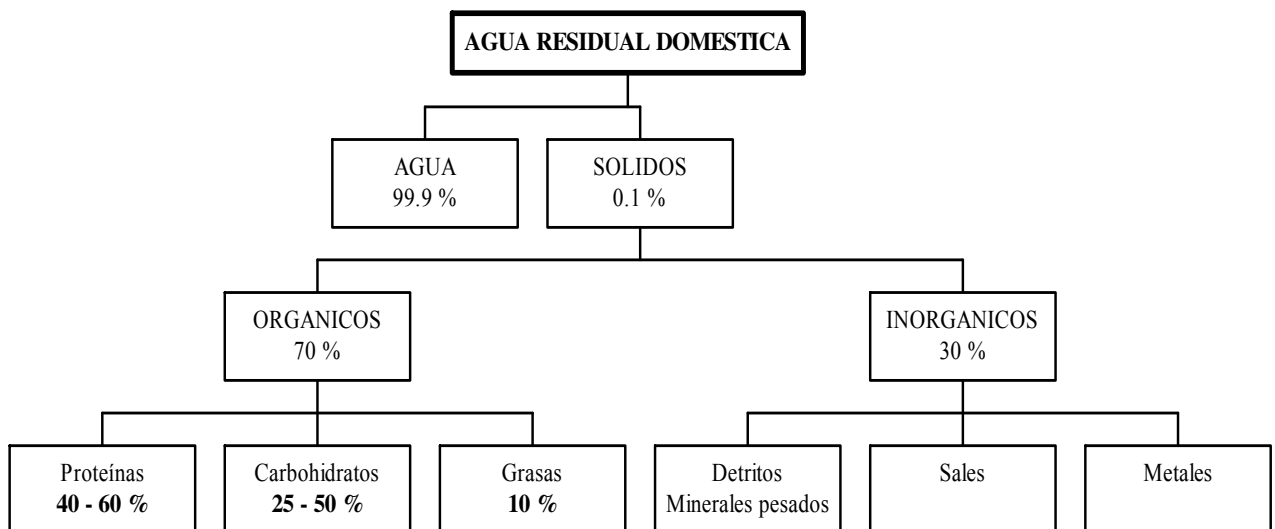


3.3 COMPOSICIÓN, CARACTERÍSTICAS FISICOQUÍMICAS Y BIOLÓGICAS DEL AGUA RESIDUAL

Según Metcalf & Eddy (1995) los constituyentes más importantes de los residuos líquidos confieren al agua residual propiedades físicas, químicas o biológicas indeseables. La composición y la concentración de estos constituyentes dependerán hasta cierto punto de las costumbres socio-económicas de la población contribuyente. Según Ramalho (1977), la composición del agua residual está determinada por el caudal y por su fuente.

Las aguas residuales consisten básicamente en: agua, sólidos disueltos y sólidos en suspensión. Los sólidos son la fracción más pequeña (representan menos del 0.1 % en peso), pero representa el mayor problema a nivel del tratamiento. El agua provee sólo el volumen y el transporte de los sólidos.

Figura N° 1:
Composición media de las ARD



Fuente: Metcalf & Eddy (1985).



Tabla N° 2
Composición típica del ARD

Constituyente	Concentración			
	Unidades	Fuerte	Media	Débil
Sólidos Totales	mg/l - g/l	1200	720	350
Sólidos Disueltos Totales	mg/l	850	500	250
Fijos	mg/l	525	300	145
Volátiles	mg/l	325	200	105
Sólidos Suspendidos	mg/l	350	220	105
Fijos	mg/l	75	55	20
Volátiles	mg/l	275	165	80
Sólidos Sedimentables	ml/l	20	10	5
Demanda Bioquímica de Oxígeno	mg/l	400	220	110
Carbono Orgánico Total	mg/l	290	160	80
Demanda Química de Oxígeno	mg/l	1000	500	250
Nitrógeno (total en la forma N)	mg/l	85	40	20
Orgánico	mg/l	35	15	8
Amoníaco libre	mg/l	50	25	12
Nitritos	mg/l	0	0	0
Nitratos	mg/l	0	0	0
Fósforo (total en la forma P)	mg/l	15	8	4
Orgánico	mg/l	5	3	1
Inorgánico	mg/l	10	5	3
Cloruros	mg/l	100	50	30
Alcalinidad (como CaCO ₃)	mg/l	200	100	50
Grasa	mg/l	150	100	50
Sulfato	mg/l	34	22	12
Coliformes totales	NMP/100 ml	$10^7 - 10^9$	$10^7 - 10^8$	$10^6 - 10^7$
Compuestos orgánicos volátiles	µg/l	>400	100 – 400	<100

(1) Estos valores dependen de la cantidad presente de agua en el suministro

Fuente: Metcalf & Eddy (1995).

IV. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

A Diciembre del 2005, el Servicio de Agua Potable y Alcantarillado de Arequipa - SEDAPAR contaba con 152,769 conexiones domiciliarias al sistema de alcantarillado, cuya disposición final sin tratamiento alguno se efectúa al río Chili mediante siete emisores, con excepción del emisor Chilpina, cuyas aguas son tratadas en la PTAR Chilpina. Asimismo, no toma en cuenta los vertimientos de industrias o residencias que cuentan con pozo propio que usan de manera clandestina el sistema de alcantarillado.



4.1 PTAR CHILPINA

Planta de tratamiento de aguas residuales existente, fue diseñada en el año 1964, inició a operar en el año 1969 con una capacidad de 210 l/s, para luego tratar 300 l/s, a causa del crecimiento demográfico de la ciudad.

En el transcurso de los años, la planta sufrió deterioros, reduciéndose significativamente su eficiencia con la consiguiente mala calidad de los efluentes. Para remediar dicha situación, fue rehabilitada entre los años 1996-1998, quedando establecido su caudal de tratamiento en 130 l/s (10 % de las aguas residuales producidas por la Ciudad), ingresando carga orgánica en una magnitud que equivale a 2 veces su capacidad máxima de diseño. Actualmente, la PTAR Chilpina no cumple con los estándares mínimos requeridos de tratamiento, siendo recomendada su demolición.

4.2 VERTIMIENTO CRUDO DE AGUAS SERVIDAS

Los colectores de la Ciudad de Arequipa descargan directamente al Río Chili, en el área geográfica del distrito de Tiabaya, siendo la situación agravada por el vertimiento al mismo río de descargas industriales. En períodos de estiaje se registran caudales mínimos en el orden de 3 m³/seg, que concentra una alta contaminación del río que a lo largo de los años ha modificado el ecosistema alrededor de Chili, con influencia en la salud de la población, vida acuática en el río y vegetal en el valle bajo del Chili, limitando el desarrollo agrícola de extensas tierras de irrigación para vegetales de consumo fresco.

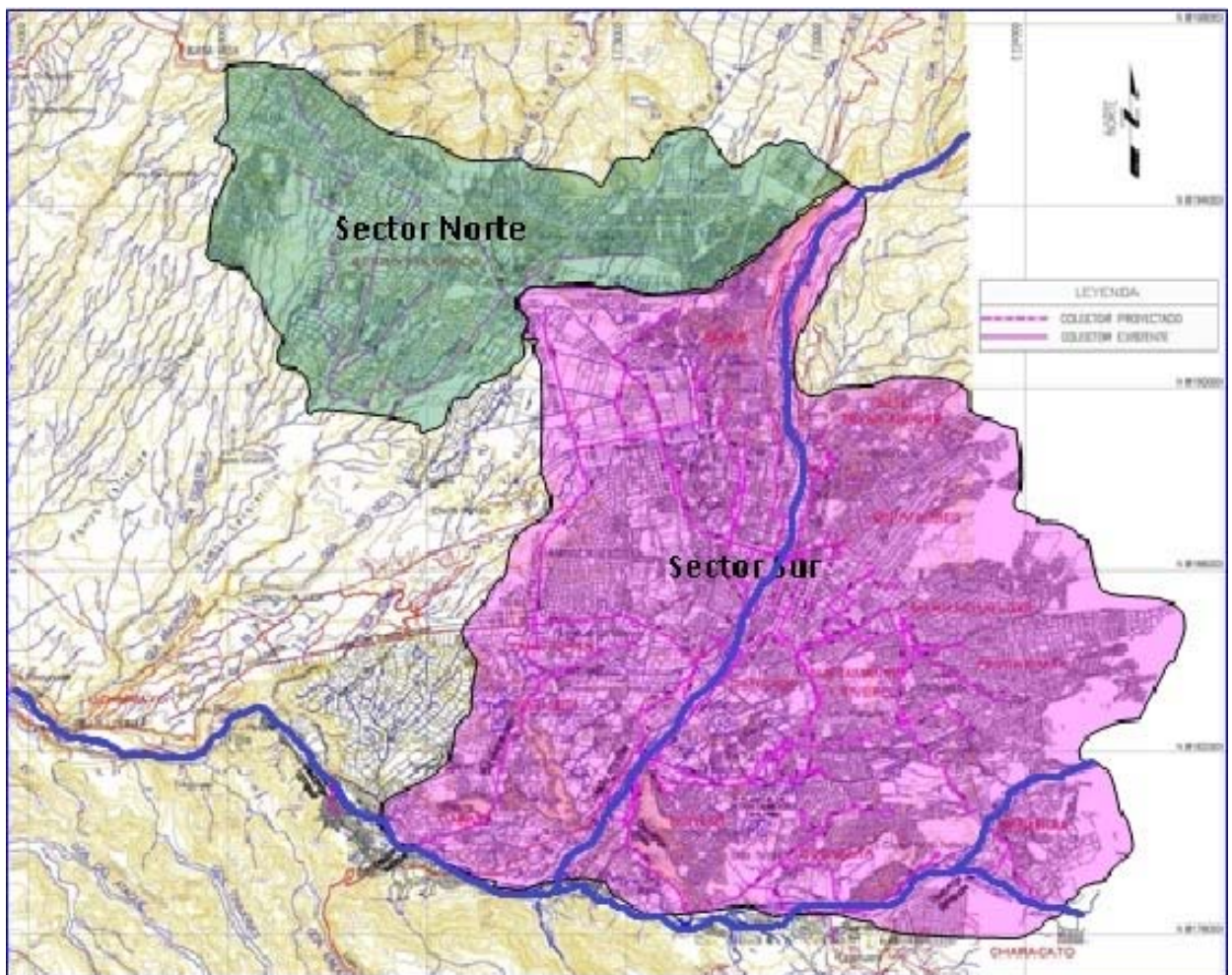
En base a la configuración de la red de colectores principales existentes y tomando en consideración los programas de ampliación, se ha evaluado una estimación del aporte de los colectores en forma zonificada (en base a cuencas de drenaje sanitario) y se han obtenido dos sectores:

Sector Norte : Que comprende las aguas residuales de la población no consolidada de Cerro Colorado y Yura (Cono Norte de Arequipa), así como las áreas potenciales de expansión urbana.



Sector Sur : Que comprende los distritos cuyas áreas de drenaje se encuentran comprendidas en los colectores Alata, Arancota y Huranguillo que son los principales y de mayor vertimiento (existen otros de mucho menor vertimiento).

Figura N° 02:
Sectorización según Red de Alcantarillado de la Ciudad de Arequipa



V. POBLACIÓN Y DEMANDA

5.1 POBLACIÓN

La proyección de la población se ha realizado en base a los censos de población del INEI para los años 1961, 1970, 1981, 1993 y 2005, de acuerdo a éstos se determinó lo siguiente:



- Tipo de crecimiento poblacional : Aritmético
- Tasa de crecimiento poblacional de Arequipa Metropolitana ¹ : 2 % promedio
- Población Conectada 2036 (Tunales)² : 1'260,592 hab
- Población Conectada 2036 (Escalerilla)² : 227,831 hab
- Población Total Arequipa Metropolitana al 2036 : 1'518,799 hab

5.2 DEMANDA

La demanda del proyecto ha sido calculada en base a las proyecciones de población y los siguientes criterios aprobados por SEDAPAR:

- Dotación per-cápita bruta de agua : 200 l/h/d ¹
- Pérdidas físicas : 20 % ¹
- Demanda per-cápita efectiva agua potable : 160 l/h/d ¹
- Caudal de Contribución de Alcantarillado : 80 % (Norma OS-100, Pto 1.8)
- Aporte per-cápita neto de aguas servida : 128 l/h/d
- Agua de Infiltración y Entradas Ilícitas : 5 % de caudal prom.

5.3 VARIACIÓN DE CONSUMO

- Coeficiente máximo diario (K1) : 1.3 (Norma OS-100, Pto 1.5)
- Coeficiente máximo horario (K2)³
Pob>600,000 hab) : 1.5
Pob<600,000 hab) : fórmula de Harmon
- Coeficiente de máximo consumo (K) : (K=K1*K2)
- Cálculo de influjo de agua de lluvia (l/s) : $I/I = 0.25 \times \text{Área (has.)} \times 0.75$
- Densidad poblacional promedio : 78 hab/ha (Dato INEI-2005)

¹ Dato Proporcionado por SEDAPAR conciliado en Reunión del 16 de Julio 2007 - Acta de Reunión N° 240731/200/AR/11 y aprobado por Informe de la Supervisión No. 240731/INFT/134 del 03.01.08

² 98 % de la Población Total al 2036 - Dato Proporcionado por SEDAPAR (PMO)

³ Valores propuestos por el Consultor según experiencia y aprobados por la Supervisión.



Sector Norte:

La cual se estima que drenará un 15.3 % de las aguas residuales de la población final de Arequipa (232,481 habitantes) al año 2,036.

Sector Sur:

Que drenará el 84.7 % restante (1'286,318 habitantes) al año 2,036.

Los cálculos de las proyecciones de las descargas de los colectores principales de Arequipa Metropolitana se formularon en relación directa al crecimiento poblacional y la cobertura de servicio de agua potable y alcantarillado por parte de SEDAPAR.

Tabla N° 3
CALCULO DE POBLACIÓN PARA EL SECTOR DEL CONO NORTE

Año	Cerro Colorado	Yura	Sub Total	Población Consolidada	Población Cono Norte	Tasa Crecimiento
2005	106,893	15,659	122,552	67,652	54,900	
2006	113,796	17,046	130,842	68,364	62,478	13.80%
2007	120,699	18,556	139,255	69,083	70,172	12.31%
2008	127,602	20,200	147,802	69,810	77,992	11.14%
2009	134,505	21,989	156,495	70,545	85,949	10.20%
2010	141,408	23,937	165,345	71,288	94,058	9.43%
2011	148,311	26,058	174,369	72,038	102,331	8.80%
2012	155,214	28,366	183,580	72,796	110,784	8.26%
2013	162,118	30,879	192,996	73,562	119,434	7.81%
2014	169,021	33,614	202,634	74,336	128,298	7.42%
2015	175,924	36,591	212,515	75,119	137,397	7.09%
2016	182,827	39,833	222,660	75,909	146,750	6.81%
2017	189,730	43,361	233,091	76,708	156,383	6.56%
2018	193,112	44,134	237,246	77,515	159,731	2.14%
2019	196,554	44,921	241,475	78,331	163,144	2.14%
2020	200,057	45,722	245,779	79,155	166,623	2.13%
2021	203,623	46,537	250,160	79,989	170,171	2.13%
2022	207,253	47,366	254,619	80,830	173,788	2.13%
2023	210,947	48,210	259,157	81,681	177,476	2.12%
2024	214,707	49,070	263,777	82,541	181,236	2.12%
2025	218,534	49,944	268,478	83,409	185,069	2.11%



Año	Cerro	Yura	Sub Total	Población	Población	Tasa
2026	222,429	50,835	273,264	84,287	188,977	2.11%
2027	226,394	51,741	278,135	85,174	192,960	2.11%
2028	230,429	52,663	283,092	86,071	197,022	2.10%
2029	234,537	53,602	288,138	86,976	201,162	2.10%
2030	238,717	54,557	293,274	87,892	205,383	2.10%
2031	242,972	55,530	298,502	88,817	209,685	2.09%
2032	247,303	56,519	303,822	89,751	214,071	2.09%
2033	251,711	57,527	309,238	90,696	218,542	2.09%
2034	256,198	58,552	314,750	91,651	223,099	2.09%
2035	260,765	59,596	320,360	92,615	227,745	2.08%
2036	265,413	60,658	326,071	93,590	232,481	2.08%

Para el caso de las distribuciones para cada Planta, se ha considerado que en Escalerilla la población corresponde a la parte no consolidada de los distritos de Yura y Cerro Colorado, y para Tunales corresponde la diferencia de la población total y la de Escalerilla, como se muestra en el cuadro siguiente.

Tabla N° 4
POBLACIÓN DE DISEÑO DE LAS PLANTAS DE TRATAMIENTO

Año	Población Total Arequipa		Población Planta Escalerilla		Población Planta Tunales	
	N° de Habitantes	Tasa de Crecimiento	Planta Escalerilla	Tasa de Crecimiento	Planta Tunales	Tasa de Crecimiento
2005	822,044		54,900		767,144	
2006	838,485	2.0 %	62,478	13.8 %	776,007	1.2 %
2007	855,255	2.0 %	70,172	12.3 %	785,083	1.2 %
2008	872,360	2.0 %	77,992	11.1 %	794,368	1.2 %
2009	889,807	2.0 %	85,949	10.2 %	803,858	1.2 %
2010	907,603	2.0 %	94,058	9.4 %	813,545	1.2 %
2011	925,755	2.0 %	102,331	8.8 %	823,424	1.2 %
2012	944,270	2.0 %	110,784	8.3 %	833,486	1.2 %
2013	963,156	2.0 %	119,434	7.8 %	843,722	1.2 %
2014	982,419	2.0 %	128,298	7.4 %	854,121	1.2 %
2015	1,002,067	2.0 %	137,397	7.1 %	864,671	1.2 %
2016	1,022,108	2.0 %	146,750	6.8 %	875,358	1.2 %
2017	1,042,551	2.0 %	156,383	6.6 %	886,167	1.2 %
2018	1,063,402	2.0 %	159,731	2.1 %	903,671	2.0 %
2019	1,084,670	2.0 %	163,144	2.1 %	921,526	2.0 %
2020	1,106,363	2.0 %	166,623	2.1 %	939,740	2.0 %



Año	Población Total Arequipa		Población Planta Escalerilla		Población Planta Tunales	
	Nº de Habitantes	Tasa de Crecimiento	Planta Escalerilla	Tasa de Crecimiento	Planta Tunales	Tasa de Crecimiento
2021	1,128,490	2.0 %	170,171	2.1%	958,319	2.0 %
2022	1,151,060	2.0 %	173,788	2.1 %	977,272	2.0 %
2023	1,174,081	2.0 %	177,476	2.1 %	996,605	2.0 %
2024	1,197,563	2.0 %	181,236	2.1 %	1,016,327	2.0 %
2025	1,221,514	2.0 %	185,069	2.1 %	1,036,445	2.0 %
2026	1,245,944	2.0 %	188,977	2.1 %	1,056,968	2.0 %
2027	1,270,863	2.0 %	192,960	2.1 %	1,077,903	2.0 %
2028	1,296,281	2.0 %	197,022	2.1 %	1,099,259	2.0 %
2029	1,322,206	2.0 %	201,162	2.1 %	1,121,044	2.0 %
2030	1,348,650	2.0 %	205,383	2.1 %	1,143,268	2.0 %
2031	1,375,623	2.0 %	209,685	2.1 %	1,165,938	2.0 %
2032	1,403,136	2.0 %	214,071	2.1 %	1,189,065	2.0 %
2033	1,431,199	2.0 %	218,542	2.1 %	1,212,657	2.0 %
2034	1,459,822	2.0 %	223,099	2.1 %	1,236,723	2.0 %
2035	1,489,019	2.0 %	227,745	2.1 %	1,261,274	2.0 %
2036	1,518,799	2.0 %	232,481	2.1 %	1,286,318	2.0 %

Las Proyecciones de caudales de cada colector se realizó en base al Área de cobertura de su red existente y proyectada según el Plan Director de SEDAPAR, y la demanda per cápita efectiva de agua potable se basa en datos proporcionado por SEDAPAR conciliado en Reunión del 16 de Julio 2007 – Acta de Reunión No 240731/200/AR/11 y aprobado por la Supervisión.



Cuadro Nº1: PROYECCIÓN DE POBLACIÓN Y CONTRIBUCIÓN DE AGUAS RESIDUALES - TUNALES

Años	Población	Tasa de Cremiento	Cobertura	Población servida	Demanda per cápita efectiva de agua potable	Caudal de contribución al Alcantarillado	Aporte neto de Aguas servidas per cápita	Aporte Doméstico				Aporte Doméstico + Infiltración				Aporte Doméstico + Infiltración + Precipitación				Caudal Promedio Industrial	Caudales finales de Diseño de PTAR		
								Caudal promedio (Qp)	Caudal Máximo Diario (Qmd)	Caudal Máximo Horario (Qmh)	Caudal Máximo de Contribución (Qmc)	Caudal de Infiltración (5% de Qp) Qi	Caudal promedio con Infiltración Qp+Qi	Caudal Máximo Diario con Infiltración Qmd+Qi	Caudal Máximo de Contribución con Infiltración Qmc+Qi	Área con saneamiento [Población servida /densidad actual (78 hab /ha)]	Caudal de Precipitación n Qprec	Caudal máximo horario con Infiltración y Precipitación (Qmh+Qi+Qprec)	Caudal Promedio con Infiltración y Aporte Industrial (Qp+Qi+Qind)		Caudal Máximo Diario con Infiltración y aporte Industrial	Caudal Máximo de Contribución con Infiltración, Precipitación y Aporte Industrial	
	(hab.)	(%)	(%)	(hab.)	(lt/hab/día)	(%)	(lt/hab./día)	(l/s)	(l/s)	(l/s)	(l/s)	(l/s)	(l/s)	(l/s)	(l/s)	(Has)	(l/s)	(l/s)	(l/s)	(l/s)	(l/s)	(l/s)	(l/s)
2005	767,144		80	613,715	160	80	128	909	1,182	1,364	1,773	45	955	1,227	1,818	7,868	209	2,027	70	1,025	1,311	2,097	
2006	776,007	1.2%	80	620,805	160	80	128	920	1,196	1,380	1,793	46	966	1,242	1,839	7,959	211	2,050	71	1,037	1,326	2,121	
2007	785,083	1.2%	81	635,917	160	80	128	942	1,225	1,413	1,837	47	989	1,272	1,884	8,153	214	2,099	72	1,061	1,358	2,171	
2008	794,368	1.2%	82	651,382	160	80	128	965	1,255	1,448	1,882	48	1,013	1,303	1,930	8,351	218	2,148	73	1,086	1,390	2,222	
2009	803,858	1.2%	83	667,202	160	80	128	988	1,285	1,483	1,927	49	1,038	1,334	1,977	8,554	222	2,199	74	1,112	1,424	2,274	
2010	813,545	1.2%	85	691,513	160	80	128	1,024	1,332	1,537	1,998	51	1,076	1,383	2,049	8,866	228	2,277	75	1,151	1,474	2,353	
2011	823,424	1.2%	86	708,145	160	80	128	1,049	1,364	1,574	2,046	52	1,102	1,416	2,098	9,079	233	2,331	77	1,178	1,509	2,407	
2012	833,486	1.2%	87	725,133	160	80	128	1,074	1,397	1,611	2,095	54	1,128	1,450	2,149	9,297	237	2,385	78	1,206	1,544	2,463	
2013	843,722	1.2%	88	742,475	160	80	128	1,100	1,430	1,650	2,145	55	1,155	1,485	2,200	9,519	241	2,441	79	1,234	1,580	2,520	
2014	854,121	1.2%	89	760,167	160	80	128	1,126	1,464	1,689	2,196	56	1,182	1,520	2,252	9,746	245	2,498	80	1,263	1,617	2,578	
2015	864,671	1.2%	90	778,203	160	80	128	1,153	1,499	1,729	2,248	58	1,211	1,556	2,306	9,977	250	2,555	81	1,292	1,655	2,637	
2016	875,358	1.2%	91	796,576	160	80	128	1,180	1,534	1,770	2,301	59	1,239	1,593	2,360	10,213	254	2,614	82	1,322	1,693	2,697	
2017	886,167	1.2%	92	815,275	160	80	128	1,208	1,570	1,812	2,355	60	1,268	1,631	2,416	10,452	258	2,674	84	1,352	1,732	2,758	
2018	903,671	2.0%	93	840,414	160	80	128	1,245	1,619	1,868	2,428	62	1,307	1,681	2,490	10,775	264	2,755	85	1,392	1,784	2,839	
2019	921,526	2.0%	94	866,234	160	80	128	1,283	1,668	1,925	2,502	64	1,347	1,732	2,567	11,106	270	2,837	86	1,434	1,838	2,923	
2020	939,740	2.0%	95	892,753	160	80	128	1,323	1,719	1,984	2,579	66	1,389	1,786	2,645	11,446	277	2,922	88	1,476	1,893	3,009	
2021	958,319	2.0%	95	910,403	160	80	128	1,349	1,753	2,023	2,630	67	1,416	1,821	2,697	11,672	281	2,978	89	1,505	1,930	3,067	
2022	977,272	2.0%	95	928,408	160	80	128	1,375	1,788	2,063	2,682	69	1,444	1,857	2,751	11,903	285	3,036	90	1,534	1,968	3,126	
2023	996,605	2.0%	96	956,741	160	80	128	1,417	1,843	2,126	2,764	71	1,488	1,913	2,835	12,266	291	3,126	92	1,580	2,026	3,218	
2024	1,016,327	2.0%	96	975,674	160	80	128	1,445	1,879	2,168	2,819	72	1,518	1,951	2,891	12,509	296	3,187	93	1,611	2,066	3,279	
2025	1,036,445	2.0%	96	994,987	160	80	128	1,474	1,916	2,211	2,874	74	1,548	1,990	2,948	12,756	300	3,248	94	1,642	2,106	3,342	
2026	1,056,968	2.0%	96	1,014,689	160	80	128	1,503	1,954	2,255	2,931	75	1,578	2,029	3,006	13,009	305	3,311	96	1,674	2,148	3,407	
2027	1,077,903	2.0%	97	1,045,566	160	80	128	1,549	2,014	2,323	3,021	77	1,626	2,091	3,098	13,405	311	3,409	97	1,724	2,211	3,507	
2028	1,099,259	2.0%	97	1,066,281	160	80	128	1,580	2,054	2,370	3,080	79	1,659	2,133	3,159	13,670	316	3,475	99	1,757	2,255	3,574	
2029	1,121,044	2.0%	97	1,087,413	160	80	128	1,611	2,094	2,416	3,141	81	1,692	2,175	3,222	13,941	321	3,543	100	1,792	2,299	3,643	
2030	1,143,268	2.0%	98	1,120,402	160	80	128	1,660	2,158	2,490	3,237	83	1,743	2,241	3,320	14,364	328	3,648	102	1,844	2,367	3,749	
2031	1,165,938	2.0%	98	1,142,620	160	80	128	1,693	2,201	2,539	3,301	85	1,777	2,285	3,386	14,649	333	3,718	103	1,880	2,414	3,822	
2032	1,189,065	2.0%	98	1,165,284	160	80	128	1,726	2,244	2,590	3,366	86	1,813	2,331	3,453	14,940	338	3,791	105	1,917	2,461	3,895	
2033	1,212,657	2.0%	98	1,188,403	160	80	128	1,761	2,289	2,641	3,433	88	1,849	2,377	3,521	15,236	343	3,864	106	1,955	2,509	3,970	
2034	1,236,723	2.0%	98	1,211,989	160	80	128	1,796	2,334	2,693	3,501	90	1,885	2,424	3,591	15,538	348	3,939	108	1,993	2,559	4,047	
2035	1,261,274	2.0%	98	1,236,048	160	80	128	1,831	2,381	2,747	3,571	92	1,923	2,472	3,662	15,847	353	4,015	109	2,032	2,609	4,125	
2036	1,286,318	2.0%	98	1,260,592	160	80	128	1,868	2,428	2,801	3,642	93	1,961	2,521	3,735	16,161	358	4,093	110	2,071	2,659	4,204	

Coefficiente Máximo Diario K₁: 1.30
Coefficiente Máximo Horario K₂: 1.50
Coefficiente Máximo de Contribución K: 1.95



Cuadro Nº2: PROYECCIÓN DE POBLACIÓN Y CONTRIBUCIÓN DE AGUAS RESIDUALES - CONO NORTE

Años	Población	Tasa de Cremiento	Cobertura	Población servida	Demanda per cápita efectiva de Agua Potable	Caudal de contribución al Alcantarillado	Dotación neta de Aguas servidas	K Harmon	K Coeficiente Máximo de Contribución	Aporte Doméstico			Aporte Doméstico con Infiltración				Aporte Doméstico + Infiltración + Precipitación			Caudal Promedio Industrias	Caudales finales de Diseño de PTAR		
										Caudal Promedio Qp	Caudal Máximo Diario Qmd	Caudal Máximo de Contribución Qmc	Caudal de Infiltración (5% de Qp) Qi	Caudal Promedio con Infiltración	Caudal Máximo diario con Infiltración	Caudal Máximo de contribución con Infiltración	área con saneamiento [Población servida /densidad actual (78 hab /ha)]	Caudal de Precipitación (Qprec)	Caudal Máximo de Contribución con Infiltración y Precipitación		Caudal Promedio con Infiltración y aporte Industrial	Caudal Máximo diario con Infiltración y aporte Industrial	Caudal Máximo de Contribución con Infiltración, Precipitación y aporte Industrial
	(hab.)	(%)	(%)	(hab.)	(lt/hab./día)	(%)	(lt/hab./día)	-	-	(l/s)	(l/s)	(l/s)	(l/s)	(l/s)	(l/s)	(l/s)	(Has)	(l/s)	(l/s)	(l/s)	(l/s)	(l/s)	(l/s)
2005	46,882		80	37,506	160	80	128	2.38	3.10	56	72	172	3	58	76	175	481	26	201	30	88	106	231
2006	57,784	23.3%	80	46,227	160	80	128	2.30	2.99	68	89	204	3	72	93	208	593	30	238	30	102	124	268
2007	68,364	18.3%	81	55,375	160	80	128	2.22	2.89	82	107	237	4	86	112	241	710	34	276	31	117	143	307
2008	78,623	15.0%	82	64,471	160	80	128	2.16	2.81	96	124	269	5	100	130	273	827	39	312	31	132	162	343
2009	88,560	12.6%	83	73,505	160	80	128	2.11	2.75	109	142	299	5	114	149	305	942	43	347	32	146	180	379
2010	98,174	10.9%	85	83,448	160	80	128	2.07	2.69	124	161	332	6	130	169	338	1,070	47	385	32	162	201	417
2011	107,465	9.5%	86	92,420	160	80	128	2.03	2.64	137	178	361	7	144	187	368	1,185	50	418	33	177	220	451
2012	116,432	8.3%	87	101,296	160	80	128	2.00	2.59	150	195	389	8	158	205	397	1,299	54	451	33	191	238	484
2013	125,074	7.4%	88	110,065	160	80	128	1.97	2.56	163	212	417	8	171	223	425	1,411	58	482	34	205	256	516
2014	133,391	6.6%	89	118,718	160	80	128	1.94	2.52	176	229	444	9	185	240	452	1,522	61	513	34	219	274	548
2015	141,382	6.0%	90	127,244	160	80	128	1.92	2.49	189	245	470	9	198	257	479	1,631	64	543	35	233	292	578
2016	149,046	5.4%	91	135,632	160	80	128	1.89	2.46	201	261	495	10	211	274	505	1,739	67	572	35	246	310	608
2017	156,383	4.9%	92	143,872	160	80	128	1.88	2.44	213	277	520	11	224	291	530	1,845	70	601	36	260	327	637
2018	163,391	4.5%	93	151,954	160	80	128	1.86	2.41	225	293	544	11	236	307	555	1,948	73	628	36	273	344	665
2019	170,070	4.1%	94	159,866	160	80	128	1.84	2.39	237	308	567	12	249	323	579	2,050	76	655	37	286	360	692
2020	176,420	3.7%	95	167,599	160	80	128	1.83	2.37	248	323	589	12	261	339	602	2,149	79	681	38	298	376	718
2021	182,439	3.4%	95	173,317	160	80	128	1.82	2.36	257	334	606	13	270	350	619	2,222	81	700	38	308	389	738
2022	188,127	3.1%	95	178,721	160	80	128	1.81	2.35	265	344	622	13	278	361	635	2,291	83	718	39	317	400	756
2023	193,483	2.8%	96	185,743	160	80	128	1.79	2.33	275	358	642	14	289	376	656	2,381	85	741	39	328	415	780
2024	198,505	2.6%	96	190,565	160	80	128	1.79	2.32	282	367	656	14	296	385	670	2,443	87	757	40	336	425	796
2025	203,194	2.4%	96	195,067	160	80	128	1.78	2.31	289	376	668	14	303	394	683	2,501	88	771	40	344	435	812
2026	207,549	2.1%	96	199,247	160	80	128	1.77	2.30	295	384	680	15	310	403	695	2,554	90	785	41	351	444	826
2027	211,567	1.9%	97	205,220	160	80	128	1.76	2.29	304	395	697	15	319	415	712	2,631	92	804	42	361	457	846
2028	215,249	1.7%	97	208,792	160	80	128	1.76	2.29	309	402	707	15	325	422	723	2,677	93	816	42	367	464	858
2029	218,594	1.6%	97	212,036	160	80	128	1.75	2.28	314	408	716	16	330	429	732	2,718	94	826	43	373	472	869
2030	221,601	1.4%	98	217,169	160	80	128	1.75	2.27	322	418	731	16	338	439	747	2,784	96	843	44	381	483	886
2031	224,268	1.2%	98	219,783	160	80	128	1.74	2.27	326	423	738	16	342	444	754	2,818	97	851	44	386	489	895
2032	226,595	1.0%	98	222,063	160	80	128	1.74	2.26	329	428	744	16	345	449	761	2,847	97	858	45	390	494	903
2033	228,581	0.9%	98	224,009	160	80	128	1.74	2.26	332	431	750	17	348	453	766	2,872	98	865	46	394	499	910
2034	230,224	0.7%	98	225,620	160	80	128	1.74	2.26	334	435	754	17	351	456	771	2,893	99	870	46	397	502	916
2035	231,525	0.6%	98	226,894	160	80	128	1.73	2.25	336	437	758	17	353	459	775	2,909	99	874	47	400	506	921
2036	232,481	0.4%	98	227,831	160	80	128	1.73	2.25	338	439	761	17	354	461	777	2,921	99	877	49	403	509	925

Coeficiente Máximo Diario K₁: 1.30



VI. ALTERNATIVAS DE PROCESOS PARA EL TRATAMIENTO DE LAS AGUAS RESIDUALES

A continuación se presenta una descripción general de los diferentes procesos aplicados para el tratamiento de aguas residuales de la ciudad de Arequipa y considerando el nivel de calidad requerido para los efluentes.

Así mismo, para la selección de procesos se ha tenido en cuenta factores tales como temperaturas, radiación y caudales. Así mismo, se considero que para el horizonte de diseño (2036) Arequipa tendrá una cobertura de servicio de alcantarillado de 98 %.

En principio, se puede definir 3 clases de procesos adicionales a los requerimientos de calidad de efluentes a la salida del sistema de tratamiento:

- Extensivo
- Intensivo
- Semi - intensivo

6.1 PROCESOS DE TRATAMIENTO EXTENSIVO

Estos procesos se basan en el uso de unidades de larga retención hidráulica en los cuales el tratamiento biológico para estabilización del material orgánico se hace en lagunas de diferentes tipos.

Estos procesos requieren grandes áreas para su implementación pero tienen la ventaja de remover coliformes y parásitos y usualmente no requieren de equipamiento electromecánico.

Los sistemas típicos de tratamiento extensivo consisten en el uso de lagunas de estabilización, basadas en general en disponer de reactores construidos directamente sobre el terreno en condiciones apropiadas, y utilizando factores naturales (aireación por contacto con la atmósfera, radiación solar, ventilación, temperatura ambiente) como elementos propiciadores de desarrollo de colonias de bacterias adaptadas a tales factores y capaces de metabolizar la materia orgánica afluente.



6.2 PROCESOS DE TRATAMIENTO INTENSIVO

Estos procesos están destinados a la remoción de materia orgánica (medida como DBO) y sólidos suspendidos (medidos como SST), en un orden que va entre 85 y 96 % para lo cual se recurre a procesos biológicos. Estos procesos ocurren con cargas hidráulicas, orgánicas y de sólidos, medias a elevadas, normalmente con auxilio de equipamiento mecánico.

Se distinguen los siguientes tipos de procesos:

- Lodos activados
- Filtros biológicos
- Reactores anaeróbicos de flujo ascendente (RAFA)
- Lagunas aireadas

En estos procesos se hace el uso de unidades de tratamiento de un periodo corto de retención hidráulica y en los cuales se emplean medios mecánicos para acelerar los procesos de estabilización del material orgánico. Estos procesos se caracterizan por el requerimiento de áreas limitadas para su construcción para efectos de remoción de coliformes y de parásitos, se debe incluir procesos de cloración y de filtración de los efluentes.

6.3 PROCESO DE TRATAMIENTO SEMI-INTENSIVO.

Este tipo de proceso hace uso de una combinación de unidades de procesos intensivos y de extensivos que comprenden lagunas y distintos tipos de unidades intensivas. El requerimiento de área de estos procesos es mediano.

Estos procesos podrían requerir en muchos casos la incorporación de procesos de cloración y filtrado para remoción eventual de coliformes y de parásitos de los efluentes, o alternativamente el uso de radiación de Ultravioleta (UV) para estos efectos.



VII. ALTERNATIVAS DEL SISTEMA DE EMISORES Y TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES

Arequipa Metropolitana presenta una característica topográfica que permite evacuar todas sus aguas residuales por gravedad hacia la parte baja de la ciudad, pudiendo determinarse un solo punto de tratamiento (planta única) o varias plantas; sin embargo, la disposición de terrenos para la ubicación de la planta de tratamiento hace necesario el estudio de diferentes alternativas de sitios y procesos que a su vez conllevan al estudio de alternativas de trazo de los emisores correspondientes.

La empresa encargada del servicio de agua de la ciudad, SEDAPAR S.A. con apoyo financiero extranjero, desarrolló desde la década del '80 un proyecto denominado Plan Maestro de Agua Potable y Alcantarillado con horizonte de diseño al año 2010, en el cual se plantearon varios sitios para el tratamiento de las aguas residuales de la ciudad, resultando **Pampa Estrella** la ubicación elegida en aquel estudio para la construcción de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales de Arequipa (Plan Maestro Reformulado 1995).

Durante el periodo del Plan Maestro se construyeron y/o reforzaron tres colectores que evacuarían casi la totalidad de las aguas residuales de Arequipa Metropolitana: Colector Alata, Colector Arancota y Colector Huaranguillo cuyo punto de entrega sería el emisor hacia la PTAR Pampa Estrella, y se proyectó y ejecutó el mejoramiento de la PTAR de Chilpina para 130 l/seg.

Actualmente, SEDAPAR S.A. tiene a nivel de proyecto el colector del Cono Norte, el cual se integrará al Sistema de Evacuación de Aguas Residuales de Arequipa Metropolitana.

Considerando la situación existente, como primer paso, se debería identificar las diferentes alternativas para el tratamiento y la conducción de las aguas residuales a fin de ser estudiadas a un nivel preliminar de pre – factibilidad.

7.1 COLECTORES EXISTENTES

Arequipa Metropolitana cuenta con los siguientes colectores:



- **Colector Alata:** (44" concreto) Este colector drena aproximadamente el 75 % de Aguas Residuales de Arequipa Metropolitana recolectados de la zona central y este de la ciudad. En su tramo final se unen los colectores Tingo Alata que proviene de la zona de Apacheta, Colector Pampa del Cuzco de la zona de Hunter y Colector antiguo que evacua las aguas del centro de la ciudad. De acuerdo a información de SEDAPAR en un futuro cercano el colector de Sabandía será conectado a este colector.
- **Colector Arancota:** (concreto 18") El colector Arancota drena las aguas servidas de la población conectada en la parte central sur este de la ciudad (Sachaca, Tahuaycani). Se estima que un 4 % de la población se encuentra conectada a este colector que vierte las aguas servidas a la ribera derecha del río Chili frente a la descarga del colector Alata.
- **Colector Huaranguillo:** (concreto 20") Este colector drena el área urbana del sector Oeste de la ciudad incluyendo una parte de alto Cayma y desemboca en el río Chili a la altura del Pueblo tradicional de Tunales en el distrito de Tiabaya (sur oeste de la ciudad) a una distancia aproximada de 3.3 km de la descarga del colector Alata y Arancota. Se estima que un 9 % de las aguas servidas de la población se drena en este colector. Capacidad de conducción de 540 l/s.
- **Chilpina:** Arequipa Metropolitana cuenta con la planta de tratamiento de Aguas Residuales de Chilpina ubicada en el distrito de Socabaya. Esta planta que entró en operación en el año 1969, hoy recibe un caudal de 150 l/seg, pero las características del afluente con alta carga orgánica, e infraestructura deteriorada no permite desarrollar el tratamiento adecuado, logrando que las "aguas tratadas" por esta planta no cumplan los parámetros exigidos por la norma. El efluente es usado en riego de la irrigación Chilpina (150 Has apróx). El colector que deriva las aguas a Planta Chilpina continúa su recorrido para empalmarse al colector Alata, es decir, solo parte del afluente entra en la planta y el resto va al río Chili.

7.2 COLECTORES EN PROYECTO

- **Colector Cono Norte:** Corresponde al colector que recogerá las aguas residuales del Cono Norte de la ciudad de Arequipa, zona que aun no ha desarrollado su sistema de alcantarillado por la falta de punto de descarga, pese al considerable desarrollo urbano de la zona. Su retraso se debe a su servicio restringido de agua potable. El estudio de Cono Norte estimó una población futura (diseño) mayor a 300,000 habitantes.



- ***Colector Sabandía:*** SEDAPAR S.A. ha desarrollado el proyecto de evacuación de aguas servidas de la localidad de Sabandía, el cual a su vez evacuara las aguas residuales del pueblo tradicional de Characato. Este colector entregara sus aguas al colector Alata según lo indicado por SEDAPAR.

7.3 OTROS COLECTORES

Existen otros colectores que descargan al río Chili que corresponden a pequeños poblados que no están conectados al sistema de colectores principales de SEDAPAR, Como es el caso de Congata, Tiabaya, Uchumayo. Así mismo, hay otros pueblos en el distrito de Tiabaya que aportan pequeños caudales que actualmente no están bajo la administración de SEDAPAR. No se considera representativa su caracterización por ser caudales netamente domésticos muy pequeños, pero si están considerados en el análisis de la demanda como parte de Arequipa Metropolitana.

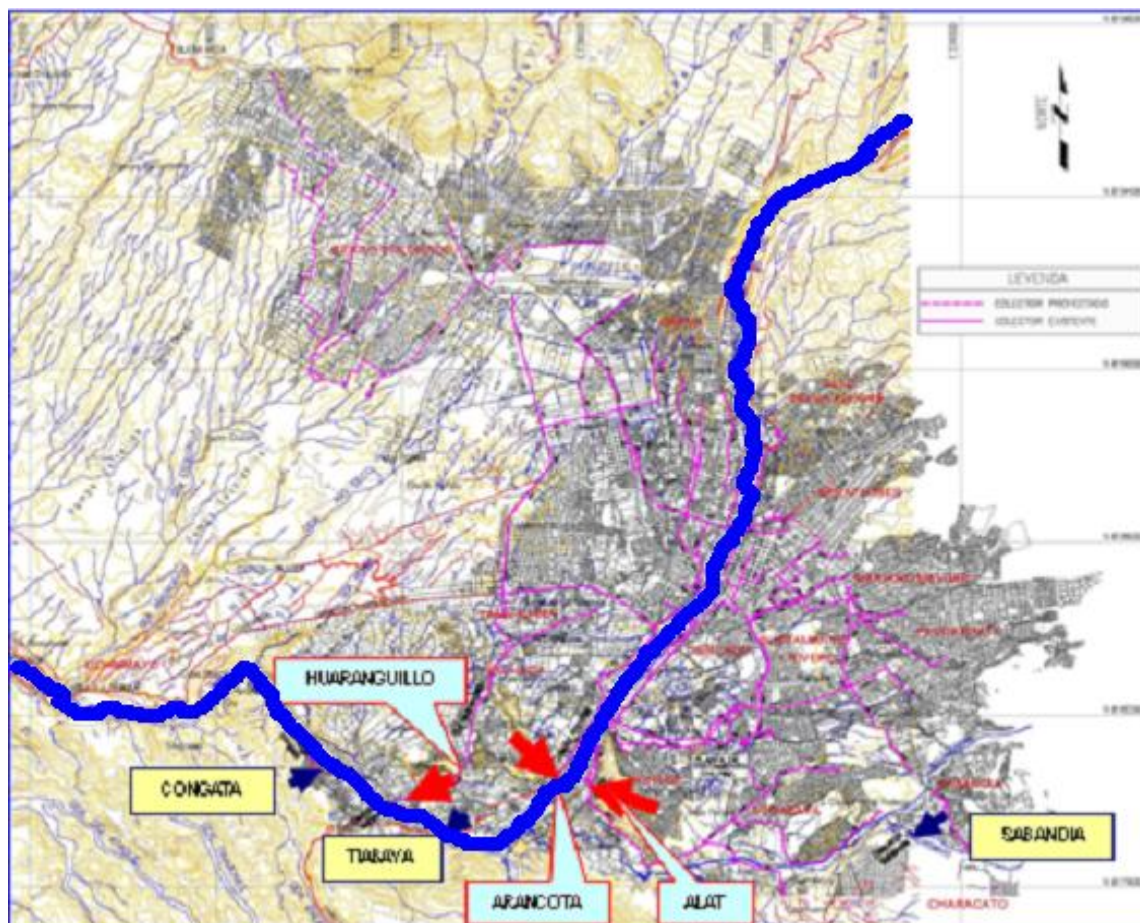
7.4 SISTEMA ACTUAL DE DESAGÜES Y AGUAS RESIDUALES

Según el registro catastral de SEDAPAR - Oficina de Planificación, al mes de Diciembre del 2005, se cuenta con 152,769 conexiones domiciliarias al sistema de alcantarillado. La totalidad de las aguas residuales de la ciudad se evacua primordialmente mediante siete emisores ubicados en diferentes Distritos. Todos ellos, a excepción del emisor Chilpina, descargan directamente al río Chili, sin ningún tipo de tratamiento.

SEDAPAR asume por reglamento una cifra de caudal de recolección equivalente al 80 % de la producción total de agua potable, pero no toma en cuenta los vertimientos de industrias o residencias que cuentan con pozo propio y usan de manera clandestina el sistema de alcantarillado de SEDAPAR.

El caudal de las aguas servidas recolectadas proviene de varias fuentes que aportan desagües de tipo doméstico, industrial, hospitalario, comercial y público.

FIGURA N° 03: PUNTOS DE VERTIMIENTOS PRINCIPALES DE DESAGÜES
AREQUIPA METROPOLITANA





CUADRO N° 3
CAUDALES DE DISEÑO PARA LOS PRINCIPALES COLECTORES DE AREQUIPA AL 2036

COLECTOR	Población Total (Miles de Habitantes)	% cobertura	Población Servida (Habitantes)	Aporte neto de Aguas Servidas per cápita (lt/hab./día)	Caudal promedio Doméstico (l/s)	K Harmon	Coefficiente Máximo de Contribución	Caudal Máximo de Contribución (l/s)	Caudal de Infiltración (5% del caudal promedio) (l/s)	Caudal promedio con Infiltración (l/s)	Caudal Máximo de Contribución con Infiltración (l/s)	Caudal Máximo Diario con Infiltración (l/s)	Caudal de Precipitación (l/s)	Caudal Máximo de Contribución con Infiltración y Precipitación (l/s)	Caudal Promedio Industrial (l/s)	Caudal Promedio con Infiltración y aporte Industrial (l/s)	Caudal Promedio con Infiltración y aporte Industrial (l/s)	Caudal Máximo Diario con Infiltración y aporte Industrial (l/s)	Caudal Máximo de Contribución con Infiltración, Precipitación y aporte Industrial (l/s)
HUARANGUILLO	147	0.98	144,495	128	214	1.87	2.44	521	11	225	532	292	70.59	603	11	303.0	236	303	614
ALATA	982	0.98	962,072	128	1,425	1.50	1.95	2,779	71	1,497	2,851	1,946	292.60	3,143	72	2,017.6	1,569	2,018	3,215
ARANCOTA	115	0.98	112,945	128	167	1.96	2.54	426	8	176	434	228	58.68	493	24	252.5	200	252	517
CONO NORTE (Pampa Escalerilla)	232	0.98	227,831	128	338	1.73	2.25	761	17	354	777	461	99.33	877	49	509.3	403	509	925
PEQUEÑAS DESCARGAS	42	0.98	41,080	128	61	2.34	3.05	186	3	64	189	83	27.48	216	3	86.2	67	86	219
ACUMULADO																			
ALATA-ARANCOTA	982	0.98	962,072	128	1,425	1.50	1.95	2,779	71	1,497	2,851	1,946	292.60	3,143	72	2,017.6	1,569	2,018	3,215
ARANCOTA - HUARANGUILLO	1,097	0.98	1,075,017	128	1,593	1.50	1.95	3,106	80	1,672	3,185	2,174	318.00	3,503	96	2,270.1	1,768	2,270	3,599
TUNALES	1,286	0.98	1,260,592	128	1,868	1.50	1.95	3,642	93	1,961	3,735	2,549	358.34	4,093	110	2,659.3	2,071	2,659	4,204

Para efectos de nomenclatura para el diseño de las Plantas de Tratamiento se renombrarán los caudales de diseño de la siguiente manera:

- Q_p : Caudal Promedio con Infiltración y aporte Industrial.
- Caudal Máximo Diario Q_{md} : Caudal Máximo Diario con Infiltración y aporte Industrial.
- Caudal Máximo Horario Q_{mh} : Caudal Máximo de Contribución con Infiltración, Precipitación y aporte Industria.



VIII. CARACTERIZACIÓN DEL AGUA RESIDUAL

A continuación se presenta los resultados de la caracterización de las aguas residuales de la ciudad de Arequipa.

Tabla N° 5
Caracterización de las Aguas Residuales de la Ciudad De Arequipa

Componente	Parámetro	Emisores			Promedio Ponderado
		Alata	Arancota	Huaranguillo	
Fisicoquímicos In Situ	pH	7.65	7.60	8.99	7.83
	Temperatura ° C	17.00	17.33	17.61	17.12
	Conductividad Eléctrica mS/cm	1.30	1.23	1.56	1.33
	Oxígeno Disuelto mg/L	0.22	0.67	0.37	0.30
Parásitos	Huevos:				
	- <i>Trichuris trichiura</i>	18.50	13.50	23.25	18.57
	- <i>Ascaris lumbricoides</i>	25.25	17.75	32.25	25.33
	- <i>Hymenolepis nana</i>	16.75	11.75	26.50	17.52
	- <i>Taenia sp.</i>	15.00	14.75	14.25	14.87
	Quistes:				
	- <i>Gardia lamblia</i>	20.25	15.50	30.75	21.15
	- <i>Entamoeba coli</i>	11.25	7.00	9.75	10.53
	- <i>Entamoeba histolytica</i>	6.25	5.67	8.25	6.46
	- <i>Trofozoitos (Formas vegetativas)</i>				0.00
	- <i>Trichocephalo dispar</i>	17.25	14.50	20.25	17.34
Microbiológicos	Coliformes Totales NMP/100ml	4.99E+08	1.35E+09	2.31E+11	3.29E+10
	Coliformes Fecales NMP/100ml	3.52E+08	1.26E+07	6.07E+10	8.77E+09
Fisicoquímicos	Conductividad Eléctrica mS/cm				0.00
	Cloruros ppm Cl-	174.41	233.89	315.20	201.26
	nitrógeno Amoniacal ppm	38.14	23.35	66.58	40.35
	nitrógeno Kjeldahl ppm	42.28	25.31	109.70	49.68
	Fósforo Total ppm				0.00
	sólidos Totales Suspendidos	379.5	112.0	415.5	352.44
	sólidos Sedimentable mg/L	8.5	2.5	6.5	7.50
	sólidos Totales Disueltos mg/L	859.0	824.0	1287.5	914.79
	Sulfuros mg/L	3.76	3.24	2.88	3.57
	carbono Orgánico Total mg/L	7	3	10	6.94
	Alcalinidad ppm	308.01	208.59	418.20	311.51
	Carbonatos ppm	0	0	92.57	12.96
	Fosfatos ppm	40.230	20.783	59.014	40.53
	Sólidos Volátiles mg/l	273.0	123.0	346.5	265.29
	Arsénico mg/l	0.011	0.023	0.020	0.01
	Boro mg/l	0.798	0.804	0.895	0.81
	Calcio mg/l	54.71	44.64	92.68	58.82



Cadmio mg/l	<0.0004	<0.0004	0.0022	
Cromo mg/l	0.083	0.456	1.214	0.29
Cobre mg/l	0.105	0.037	0.126	0.10
Hierro mg/l	0.974	0.315	1.636	0.99
Magnesio mg/l	15.48	19.15	20.48	16.62
Manganeso mg/l	0.076	0.028	0.147	0.08
Sodio mg/l	129.7	174.5	220.2	147.75
Niquel mg/l	0.006	0.003	0.010	0.01
Plomo mg/l	0.025	0.14	0.081	0.05
Selenio mg/l	<0.002	<0.002	<0.002	
Zinc mg/l	0.296	0.253	0.383	0.30
Mercurio mg/l	0.0006	0.0011	0.0006	0.00
Fenoles mg/l	0.083	0.015	0.295	0.10
Cianuro total mg/l	<0.004	<0.004	0.007	
DBO ₅ mg/l	497.8	375.2	759.0	519.66

Los análisis de laboratorio realizados en julio del 2007, la caracterización se ha elaborado para efectos de conocer la calidad del afluente en lo referente a la contribución doméstica e industrial. De los resultados obtenidos en la campaña de muestreo y también de la data histórica de SEDAPAR de los afluentes de Arequipa, se concluye que las aguas residuales son de tipo doméstico con una contribución industrial, siendo la calidad semejante a otras ciudades del mundo de las mismas características de Arequipa tal como se aprecia en la tabla anterior.

IX. CALIDAD A OBTENER EN LOS EFLUENTES

Para la evaluación de la calidad a obtener para los efluentes del sistema de tratamiento de Aguas Residuales de Arequipa Metropolitana fue tomando como base la normatividad peruana, la capacidad de auto depuración y dilución del río Chili y el uso que se le dará al agua aguas abajo del punto de descarga (del efluente).

El uso de las aguas del río Chili aguas abajo del punto de descarga es principalmente para Irrigación.

Se ha realizado la caracterización del las aguas residuales en las descargas de los tres colectores principales de la ciudad (Alata, Arancota y Huaranguillo) y en el río Chili (cuerpo receptor) para conocer la calidad de afluente a tratar y la magnitud del proceso necesario para obtener los parámetros propuestos.



Tabla N° 6

Parámetros Propuestos a Obtener en el Tratamiento

Normativa Peruana para Irrigación	
Parámetro	USO III
	Aguas para riego de vegetales de consumo crudo y bebida de animales
Coliformes Totales * (máx.)	5000 und/100 ml
Coliformes Fecales * (máx.)	1000 und/100 ml
DBO ₅ ** (máx.)	15 mg/litro
Oxígeno Disuelto** (min)	3 mg/litro
Norma de la OMS-Organización Mundial de la Salud	
Huevos de helmintos	< 1 und/ litro

* Valores máximos en el 80 % de 5 o más muestras mensuales.

** Valores en todas las muestras.

Los tres colectores existentes descargan las aguas residuales directamente al río Chili, generando una alta contaminación que ha repercutido directamente en la calidad de vida del poblador Arequipeño por sus efectos negativos sobre la salud por las enfermedades infectocontagiosas con riesgo de epidemias, el medio ambiente, eliminando la posibilidad de vida acuática en el río, el panorama integral por limitar las zonas de esparcimiento, el desarrollo económico, por no cumplir las exigencias internacionales de productos agroexportables, el turismo, por la imagen negativa que se presenta al visitante, etc.

X. PLANTEAMIENTO DE ALTERNATIVAS PARA LA CONDUCCIÓN Y EL TRATAMIENTO DE LAS AGUAS RESIDUALES

En el presente proyecto, con horizonte al 2036, se han propuesto 8 sitios para la construcción de la(s) planta(s) de tratamiento de aguas residuales: Pampa Estrella, Pampa Escalerilla, Huayrondo, Tiabaya, Sitio B, Sitio C, Sitio D1, Sitio D⁴; además de considerar la posibilidad de optimización y mejoramiento de la PTAR Chilpina (existente). La ubicación de las Plantas se muestra en los planos adjuntos.

De estas alternativas de para la conducción y el tratamiento se estudiarán a un nivel de pre - factibilidad a fin de seleccionar la mejor técnica y económicamente para pasar a un nivel de estudio de Ingeniería Básica.

⁴ Descartado por estar muy alejado de la ciudad.



En cuanto a la caracterización de las Aguas Residuales se ha determinado que la carga orgánica producida actual es de 55,000 kg DBO/día (700,000 hab) valores por encima de lo usual para ciudades de estas características y para el año 2036 será de 95,600 kg DBO/día para 1'490,000 habitantes (incluida industria).

El alto grado de contaminación que muestran las aguas residuales examinadas con los análisis de laboratorio respectivos en los puntos de vertimiento al río Chili se debe a la descarga de efluentes industriales en el sistema de alcantarillado sin proceso previo infringiendo la Ley de Aguas existente. El caudal actual de Aguas Residuales incluido el afluente a Planta Chilpina es cercano a 1,200 l/s.

Sin embargo, debido a la pendiente del río, se produce en su recorrido un proceso de dilución y auto-depuración que de alguna manera es beneficioso para los objetivos del proyecto. Considerando la capacidad de dilución y auto-depuración por oxigenación del río Chili en los 15 km después de la zona de descarga del efluente tratado por el sistema de tratamiento en el Proyecto hasta los primeros usuario de las aguas del Chili después del punto de vertimiento, se ha establecido que la concentración de las DBO₅ de los efluentes al final del tratamiento no supere el valor de 30 mg/l ya que en los 15 km. de recorrido en el cauce del río Chili llegara a valores menores a 15 mg/l por dilución y oxigenación cumpliendo lo establecido en la norma, y en lo referente al nivel de tratamiento de patógenos y de coliformes, el efluente de planta cumplirá las exigencias de la norma para Agua de clase III para uso de riego, con menos de 1,000 Unid/100 ml para Coliformes Fecales y menos de 1 Unid/1 lt de Huevos de Helmintos.

Para obtener estos parámetros en este proyecto se han evaluado tres tipos de tratamiento:

- Extensivo (con lagunas anaerobias, aerobias, de maduración y filtros de piedra),
- Intensivos (lodos activados, filtros percoladores y reactores anaeróbios),
- Semi-extensivos (combinación intensivo-extensivo); y para la remoción de patógenos se ha considerado cloración o radiación UV (ultra violeta).

En base a las consideraciones anteriores se han planteado tres alternativas para el sistema Emisores - PTAR y de acuerdo al área disponible de los sitios propuestos se han analizado diferentes procesos para el tratamiento de las Aguas Residuales (Cuadro 1).



Las alternativa con sus variantes y sub-variantes se han analizado a un nivel de pre – factibilidad bajo puntos de vista ambientales, geológicos, geotécnicos, hidrológicos, sociales, físicos, de vulnerabilidad, arqueológicos, técnico económicos (Valor Presente Neto) y de operación (O&M) para determinar la(s) mas optima(s) y viable(s) para su implementación.

En el estudio económico se han considerado parámetros de costos de construcción del sistema Emisores - PTAR, y de operación y mantenimiento según los procesos factibles en cada sitio. Así mismo, se ha considerado los precios comerciales del terreno en condiciones normales (interés de venta del propietario - baja demanda); sin embargo, se debe tener en cuenta que lo más probable es que en los casos de las alternativas Tiabaya, Sitio B y Sitio C, estos precios se incrementen por el efecto oferta-demanda generado por el interés de compra más que por el interés de venta de los propietarios de los terrenos agrícolas.

CUADRO N° 4

ALTERNATIVAS PARA SISTEMA EMISORES Y PTAR DE AREQUIPA METROPOLITANA

Alternativa	Variante	Sub-Variante	Sitio	Proceso
1 Cuatro Plantas	Única	-	Chilpina	Lodos activados con filtros Biológicos Tanque de contacto Sedi. Secundario deshidratadores mecánicos
			Huayrondo	Lodos Activados, Digestores anaeróbicos, Desinfección UV
			Tiabaya	Lodos Activados, Digestores anaeróbicos, Desinfección
			P. Escalerilla	RAFA, Filtros Biológicos, Sedimentadotes, Desinfección UV
2 Dos Plantas	2.1	-	P. Escalerilla	RAFA, Filtros Biológicos, Sedimentadotes, Desinfección UV
			Sitio B	RAFA, Filtros Biológicos, Sedimentadotes, Desinfección UV
	2.2	-	P. Escalerilla	RAFA, Filtros Biológicos, Sedimentadotes, Desinfección UV
			Sitio C	RAFA, Filtros Biológicos, Sedimentadotes, Desinfección UV
	2.3	-	P. Escalerilla	RAFA, Filtros Biológicos, Sedimentadotes, Desinfección UV
			Sitio D1	RAFA, Filtros Biológicos, Sedimentadotes, Desinfección UV
3 Planta Central	3.1	3.1.1	Pampa Estrella	Lag. Anaerobias, Facultativas, Maduración, Humedales Artificiales
		3.1.2		Lag. Anaerobias, Facultativas, Maduración, Filtros de Roca
		3.1.3		Lag. Anaerobias, Facultativas, filtros de Roca, cloración



Alternativa	Variante	Sub-Variante	Sitio	Proceso
		3.1.4		Lag. Anaerobias, Filtros Biológicos, Sedimentadotes, Cloración
		3.1.5		Lag. Anaerobias, filtros Biológicos, Sedimentadotes, Lag. Facultativas, Filtros de Roca
		3.1.6 a		RAFA, Filtros Biológicos, Sedimentadotes, Lag. Facultativas, filtros de Roca
		3.1.6 b		RAFA, Filtros Biológicos, Sedimentadotes, Desinfección UV
		3.1.7		Lodos Activados, Lag. Anaerobias, Desinfección UV
		-	Sitio B	Lodos Activados, Digestores anaeróbicos, Desinfección UV
		-	Sitio C	Lodos Activados, Digestores Anaerobios, Desinfección UV

10.1 DESTINO FINAL DE LOS EFLUENTES TRATADOS

El destino final de los efluentes tratados de los diferentes sitios se realizará como se indica a continuación:

CUADRO N°5
Destino Final de Efluentes Tratados

Alternativa	Lugar	Destino Final del Efluente Tratado
N° 1	TIABAYA	Río Chili
	HUAYRONDO	Río Chili
	PAMPA ESCALERILLA	Quebrada Escalerilla
	CHILPINA	Zona de Riego
N° 2	SITIO B	Río Chili
	PAMPA ESCALERILLA	Quebrada Escalerilla
	SITIO C	Río Chili
	PAMPA ESCALERILLA	Quebrada Escalerilla
	SITIO D1	Río Chili
	PAMPA ESCALERILLA	Quebrada Escalerilla
N° 3	SITIO B	Río Chili
	SITIO C	Río Chili
	PAMPA ESTRELLA	Río Chili

Además se debe considerar que en el caso del sitio Pampa Estrella la descarga del efluente tratado se realizara mediante el uso de una tubería por gravedad de aproximadamente 1.5 km de longitud que desembocaría directamente al río Chili.



Los sitios D1, B, C y Pampa Escalerilla entregarán su efluente tratado por medio de un dissipador de energía al río Chili.

10.2 CONSIDERACIONES DE DISEÑO PARA EL TRAZO DEL SISTEMA DE EMISORES

- **Distancia:** que su inicio sean lo más cercano posible a los puntos finales de los colectores existentes de la ciudad y que el trazo para alcanzar la PTAR sea el más corto (longitud óptima).
- **Características de la tubería de emisores**
 - a. Tubería de poliéster reforzada con fibra de vidrio (GRP).
 - b. Tuberías perfiladas de PVC (RIBLOC).
 - c. Tuberías de acero para las obras de arte (cruce de quebradas, el río Chili, etc.).
- **Criterios de diseño:**
 - a. La velocidad máxima de flujo en tuberías será del orden de 3.2 m/s para el caudal máximo incluido influjo al año 2036.
 - b. Material de tubería GRP, PVC perfiladas (RIBLOC) y Acero.
 - c. Buzones en emisor y colectores distanciados no más de 150 m en tuberías grandes y de 50 a 100 m en tuberías pequeñas.
 - d. La altura máxima de los buzones será de 7 m.
 - e. El emisor principal será telescópico incrementando su diámetro conforme ingresan los aportes de los colectores.
 - f. Periodo de diseño al año 2036 (30 años).
- **Calculo hidráulico:** Se ha efectuado el cálculo hidráulico de las tuberías definiendo caudales al año 2036, tomando en consideración flujo máximo horario, infiltración y aportes de aguas de lluvias. Se calculo pendientes máximas y diámetro de los colectores y del emisor (salvo el caso del Túnel de la alternativa Pampa Estrella), los resultados se muestran en los Anexo de ña presente Monografía. Se hace la distinción entre los diferentes tipos de material de las tuberías analizadas



10.3 SELECCIÓN DE ALTERNATIVAS PARA EL ESTUDIO

En una fase de estudios de pre-factibilidad, se plantearon catorce (14) alternativas de sitios de plantas y de conducción, procesos de tratamiento y disposición final de los efluentes a partir de parámetros técnicos básicos acorde con las normas sanitarias peruanas.

Se seleccionaron las cuatro (4) mejores soluciones, se eligieron dos (2) de ellas que fueron estudiadas a nivel de factibilidad, y finalmente se desarrolló la Ingeniería Básica de la alternativa seleccionada, basada en dos PTAR's, Los Tunales y Pampa Escalerilla, por presentar mejores indicadores en la evaluación social aplicando criterios del Sistema Nacional de Inversión Pública - SNIP. Estas dos plantas se encuentran ubicadas en los sitios más bajos de las cuencas de drenaje de los colectores y emisores actuales y futuros, en función a la demanda de la Ciudad.

XI. ESTUDIOS BÁSICOS

11.1 TOPOGRAFÍA

11.1.1 Planeamiento

La alternativa seleccionada comprende el Diseño a nivel de Ingeniería Básica de una Planta de Tratamiento de Aguas Residuales (PTAR) a ser ubicada en el denominado sitio B de la localidad de Tunales y una Planta de Tratamiento de Aguas Residuales (PTAR) a ser ubicada en Pampa Escalerilla.

Los trabajos topográficos a nivel de Ingeniería Básica de la alternativa seleccionada, que comprende las dos Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales (una ubicada en la Pampa Escalerilla en el distrito de Cerro Colorado y la otra en el denominado Sitio B, localidad de Tunales en el distrito de Tiabaya), así como de sus respectivos emisores se ejecutó en ambos frentes en el curso del mes de Abril del 2008.

Para establecer el control altimétrico y de posición se estableció una gran red de apoyo compuesta de una poligonal de control básico horizontal y vertical compensada utilizando fórmulas matemáticas y programas como el SOFDESK 8, sobre la cual se realizó luego el trazo de la red de apoyo principal y los correspondientes levantamientos topográficos.



Para relacionar planimétricamente ambas Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales, se estableció una red de puntos de control geodésico tomando como base el punto de orden cero de Characato. Se ubicó el *master* (GPS diferencial base) en dicho punto cero, para luego posicionar los GPS diferenciales en los puntos de interés⁵.

Se colocaron cinco puntos de control geodésico, dos en Pampa Escalerilla (C-41 y C-5) y tres en el Sitio B (E-1, E-3 y La Cruz) con lo cual se logra un estricto control de la ubicación planimétrica de ambas plantas.

Adicionalmente se ha ejecutado poligonales de precisión de control planimétrico interno tanto para las áreas de las plantas de tratamiento como de los emisores proyectados. Los puntos de estas poligonales se han monumentado con concreto y se encuentran localizados estratégicamente fuera del alcance de los procesos de construcción, evitando de esta manera que sean removidos y facilitando las verificaciones y replanteos, si fuese necesario.

Respecto al control altimétrico, se ha tomado como referencia los *bench mark* (BM) oficializados por el Instituto Geográfico Nacional (IGN) los cuales se encuentran señalizados con placas de bronce, y actualizados al 2005.

Para el control altimétrico en el Sitio B se ha utilizado el BM ubicado en el peaje Uchumayo (autopista a Lima) y para el de Pampa Escalerilla, se ha usado el BM ubicado en el óvalo Libertad (entrada al aeropuerto de Arequipa).

Las nivelaciones efectuadas para ambas Plantas de tratamiento han sido de ida y vuelta. Durante el trazado de la poligonal se han colocado hitos monumentados con concreto armado y varilla de ½” y en el seccionamiento estacados cada 20 m, con las respectivas referencias para su fácil identificación.

Los trabajos de topografía se realizaron utilizando el método convencional de poligonal, trazo, nivelación y secciones, con equipos de alta tecnología como una estación total Nikon DTM 332 y una Topcom GTS-211D, teodolito digital Nikon y nivel automático Incite AL-24.

⁵ Los tiempos de medición oscilaron en un rango de 2 a 4 horas, dependiendo del posicionamiento de los satélites para la obtención del grado de exactitud requerido.



11.1.2 Nivelación

a. Nivelación Trigonométrica

Este tipo de nivelación, con los datos de ángulos y distancias medidos con la estación total, se realizó en la poligonal de apoyo y con puntos de control del GPS diferencial, en posición directa e inversa.

CUADRO N° 6

Descripción de hitos de Poligonal de Apoyo Planta Los Tunales

POSICIÓN	DESCRIPCIÓN DE LOS HITOS DE CONTROL DE ALTIMETRÍA				
DIRECTA/ INVERSA	GPS- E1	HITO E-7	GPS E-3	HITO E-2	HITO E-10

POSICIÓN	DESCRIPCIÓN DE LOS HITOS DE CONTROL DE ALTIMETRÍA				
DIRECTA/ INVERSA	HITO E-2	GPS- E1	HITO E-10	HITO E-3	

POSICIÓN	DESCRIPCIÓN DE LOS HITOS DE CONTROL DE ALTIMETRÍA				
DIRECTA/ INVERSA	HITO E-10	HITO E-2	GPS- E1	GPS E-3	

POSICIÓN	DESCRIPCIÓN DE LOS HITOS DE CONTROL DE ALTIMETRÍA				
DIRECTA/ INVERSA	GPS- E3	HITO E-10	HITO E-2	GPS- E1	HITO E-7

POSICIÓN	DESCRIPCIÓN DE LOS HITOS DE CONTROL DE ALTIMETRÍA				
DIRECTA/ INVERSA	HITO E-7	GPS- E3	GPS- E1		



CUADRO N° 7

Descripción de hitos de Poligonal de Apoyo Planta Escalerilla

POSICIÓN	DESCRIPCIÓN DE LOS HITOS DE CONTROL DE ALTIMETRÍA					
DIRECTA/	IGN	GPS	HITO	HITO	GPS	IGN
INVERSA	PE	E - 41	E - 42	E - 43	C-5	C-1

b. Nivelación Directa

La nivelación diferencial, realizada con niveles, determinó la diferencia de nivel desde los BM oficiales del IGN, uno ubicado en el óvalo Libertad u otro ubicado en la berma central del peaje de Uchumayo en Arequipa, hasta la zona del levantamiento topográfico en Pampa escalerilla (aprox. 8Km) y el Sitio B (aprox. 14 km).respectivamente.

CUADRO N° 8

Descripción de Hito de control Altimétrico Planta Tunales

RECORRIDO	DESCRIPCIÓN DE LOS HITOS DE CONTROL ALTIMÉTRICA			
IDA	BM IGN- 64	GPS E-3	HITO E-7	GPS- E1
VUELTA	GPS- E1	HITO E-7	GPS E-3	BM IGN- 64

CUADRO N° 9

Descripción de Hito de control Altimétrico Planta Escalerilla

RECORRIDO	DESCRIPCIÓN DE LOS HITOS DE CONTROL ALTIMÉTRICO			
IDA	BM AYP-4	BM 17-A	BM IGN-PE	BM E41
VUELTA	BM E41	BM IGN-PE	BM 17-A	BM AYP-4

11.1.3 Triangulación y trilateración

Se considera red topográfica al conjunto de vértices a partir de la red geodésica de 3er orden.

La necesidad de la red topográfica radica en que la distancia entre los vértices de 3er orden es demasiado grande para los levantamientos. Se hace necesario establecer por métodos topográficos nuevos vértices, denominados vértices topográficos de modo que la distancia entre ellos no supere aquella que necesita el trabajo.



a. Triangulación

Se ha formado una red de triángulos adyacentes y encadenados de modo que cada triángulo tiene por lo menos un lado común con el triángulo siguiente.

Los puntos que constituyen esta red pueden estar separados desde unos centenares de metros hasta kilómetros. Para ubicarlos se utilizan los métodos de intersección.

Los métodos de intersección no requieren más que medidas angulares, por ello para llegar a determinar las posiciones de los vértices se necesitará conocer al menos la longitud de uno de los lados de la red. A este lado de longitud conocida se le denomina base de la triangulación

b. Trilateración

Para la trilateración, semejante a la triangulación, se utilizaron mediciones electrónicas de distancia.

Este método consiste en que en vez de medir ángulos se miden distancias entre todos los lados con distanciómetro. Las distancias que se obtienen en campo hay que reducirlas al horizonte, por ello deberán medirse también los correspondientes ángulos de inclinación, es decir se deben tomar las lecturas cenitales.

11.1.4 Planos topográficos

Con la data de campo se han generado planos topográficos con curvas cada 1 m. Los planos se adjuntan como anexo.

Los planos que se presentan están referenciados al sistema de posicionamiento global WGS 1984.



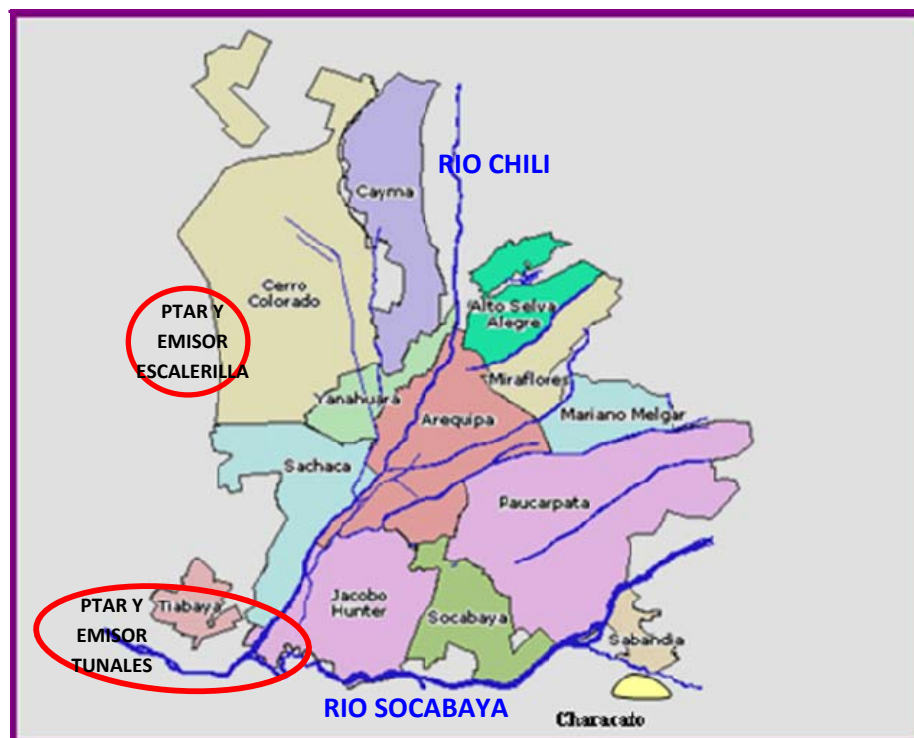
11.2 GEOLOGÍA

11.2.1 Ubicación

El “Emisor Alata-Tunales” comprende una longitud de 5.24 km desde la Toma en el río Chili, hasta la Ubicación de la Planta de tratamiento de las aguas residuales. El área de la Planta denominado “Sitio B” presenta una superficie algo sinuosa y tiene una extensión de 1,200 m de largo, y 120 m de ancho; Las obras civiles proyectadas estarán ubicadas sobre terrenos agrícolas parcelados, los que se encuentran distribuidos en terrazas de cultivos en actual producción, con productos de panllevar tales como cebolla, ajo, apio, hortalizas, etc. Estos terrenos se encuentran comprendidos en los distritos aledaños de Hunter, y Tiabaya, en la margen derecha del río Chili, de la provincia y departamento de Arequipa (Figura N° 4).

FIGURA N° 4

MAPA DE UBICACIÓN DEL ÁREA DE ESTUDIO DEL PROYECTO



11.2.2 Regional

La historia geológica del área de Estudio, se sintetiza en:



- A fines del Mesozoico (65 m.a.) se inicia un proceso de levantamiento de la corteza continental, lo que da lugar a una intensa actividad ígnea que da origen al Batolito de la Costa y a las rocas volcánicas que han cubierto a todas las rocas sedimentarias formadas en el Mesozoico (formación Yura, Gneis Charcani, etc).
- El Batolito de la Caldera, (que es parte del Batolito de la Costa), está constituido por rocas intrusivas como la Granodiorita Tiabaya, la Tonalita Laderas y Torconta, la Gabrodiorita y otras que se han emplazado unas a continuación de otras en forma sucesiva y sus edades, determinadas por métodos radiométricos, fluctúan entre los 65 m.a para las más antiguas, y los 55 ma. para las más jóvenes. En la zona del Proyecto estas rocas se constituyen en las más antiguas y por lo tanto, son el substrato rocoso sobre el cual se han emplazado las unidades litológicas más jóvenes.
- Durante un largo período de tiempo Geológico, en la región de Arequipa, se dio un proceso de erosión que eliminó las unidades litológicas que cubrían el Batolito la Caldera, cuyas rocas también quedaron expuestas al proceso erosivo que labró un relieve en cerros y quebradas que hoy apreciamos.
- Durante el Mioceno Superior (14 a 15 m.a.) y el Plioceno Inferior (5 a 2.5 m.a.) se produce una intensa actividad volcánica explosiva que origina una gruesa secuencia de flujos piroclásticos de ignimbritas soldadas y no soldadas denominados Volcánicos Sencca y que en la zona de Arequipa los conocemos como “Sillar” (blanco y rosado). Cubriendo a estas ignimbritas tenemos a la Puzolana que presenta un espesor promedio de 10 a 15 m.
- Luego de este período de actividad volcánica muy explosiva, se desarrolla una nueva etapa de actividad volcánica menos explosiva y se forman rocas volcánicas lávicas intercaladas con flujos de escombros que formaron los conos volcánicos del Pichu-Pichu, Chachani y Misti. Las edades de estas rocas fluctúan entre los 16 a 0.8 ma. (Pleistoceno Inferior a Medio). Simultáneamente, durante este período de tiempo del Pleistoceno se producen cambios climáticos muy grandes, denominados en el año de 1972 por R. Laharie “Crisis Climáticas” que persistieron hasta el Holoceno Temprano (11,000 a 5,000 años).



- Como consecuencia de estas crisis climáticas (5 en total) se tuvo períodos de intensas lluvias que erosionaron fuertemente los conos volcánicos del Pichu-Pichu, Chachani y Misti. El Río Chili encausó volúmenes de agua considerables, capaz de trasladar aguas abajo, bloques (bolonería), cantos, gravas, arenas y limos que constituyeron los “Depósitos Fluvio-aluvionales gruesos” que cubrieron tanto a las rocas intrusivas como a las ignimbritas.
- Durante el Pleistoceno Superior y hasta el Holoceno Medio la actividad volcánica se mantuvo intermitente pero con mucha menor intensidad y los volcanes arrojaron sólo materiales piroclásticos como bombas, lapilli, arenas volcánicas y ceniza volcánica, formando en el valle los “Depósitos Fluvio-aluvionales finos” que cubren a su vez a los “Depósitos Fluvio-aluvionales gruesos” y que son los fértiles suelos agrícolas del valle del río Chili, que han sido depositados en forma de terrazas.
- Esta estratigrafía es fácilmente observada en la zona de la Planta y a lo largo del emisor ubicado en el río Chili, cerca al Pueblo de Alata.

11.2.3 Estratigrafía

La zona del proyecto se encuentra ubicado al sur este del cuadrángulo 33s (ver Plano Geológico) en el cual se exponen diferentes unidades litológicas, de naturaleza sedimentaria, ígnea y metamórfica.

a. Volcánico sencca:

Se halla cubriendo grandes áreas, desde el límite norte del cuadrángulo (pampa de Arrieros) conformando hacia el sur una faja angosta entre el río Yura y las lavas del grupo Barro, hasta llegar al denominado “triángulo de Arequipa” (Yura, Arequipa y Quishuarani), donde ocupa una mayor superficie. También se les encuentra en las paredes del cañon del río Chili (CH. Charcani), en los flancos del valle del río Vitor y en otros lugares.

El volcánico Sencca descansa con discordancia erosional sobre la formación Millo y también se le encuentra cubriendo la discordancia angular del grupo al grupo Tacaza, e



infrayace con discordancia erosional al conglomerado aluvial pleistocénico y a los volcánicos del grupo barroso.

Los tufos son de composición dacítica y riolítica, distinguiéndose a simple vista granos de cuarzo, feldespatos y lamelas de biotita. Además contienen fragmentos de pómez y lavas, que pueden ser redondeados o angulosos y de tamaño variable.

Por lo general son compactos, con una cohesión apreciable aunque los hay poco consistentes y fácilmente desmenuzables. Se presentan en bancos gruesos mostrando muchas veces una disyunción prismática, dando lugar a bloques columnares cortados por planos horizontales.

Se distinguen dos niveles según el color, uno superior, rosado a marrón rojizo, y otro inferior, gris claro a blanco. Entre los últimos existe una variedad que se emplea en Arequipa como material de construcción. Alternando con los tufos, se hallan capas poco consolidadas de gravas, arenas y tufos retrabajados.

Los bancos de tufos son subhorizontales, y en algunos lugares siguen los lineamientos de la topografía pre existente.

b. Conglomerado aluvial pleistocénico:

Se designo con este nombre de conglomerado aluvial pleistocénico (J. Guizado – 1968) a la prolongación de un conglomerado que se halla cubriendo áreas extensas de la parte Suroeste del cuadrángulo de Arequipa, constituyendo las pampas de Vitor y Sigvas, que conforman la unidad geomorfológica Planicie costanera.

En los flancos del valle de Vitor este conglomerado yace directamente, con discordancia erosional sobre el volcánico Sencca y en partes se halla cubierto por una delgada capa de material aluvial y eólico reciente.

El conglomerado está formado principalmente por elementos de 20cm de diámetro, y bien redondeados, procedentes del batolito, gneis, cuarcita y lavas amigdaloides, dentro de una matriz débilmente cementada.



c. *Flujos de Barro:*

Los depósitos de flujos de barro se ubican en la esquina sureste del cuadrángulo de Arequipa (33-s) (Socabaya, Urb. Hunter, y más al norte, en la falda occidental del Misti). Estos por su poca compactación han sido erosionados dando lugar, en algunos sitios, a quebradas profundas.

En general, consisten de una masa formada por fragmentos y bloques angulares de rocas de origen volcánico (tufos y lavas), dentro de una matriz areno-tufácea o arcillosa poco consolidada.

Posiblemente, estos flujos tengan su origen en la acumulación de material piroclástico y clastos de naturaleza volcánica en lugares de gran pendiente que se movilizaron por la saturación de agua proveniente de las lluvias o deshielos, perdiendo velocidad conforme iba disminuyendo su contenido líquido hasta ocupar los lugares mencionados.

d. *Morrenas y Fluvioglaciares:*

El material morrénico consiste en bloques y fragmentos de origen volcánico con una matriz areno-gredosa.

Las morrenas han sido afectadas por agentes erosivos debido a los cuales se han modificado sus formas originales. Las más conspicuas son algunas morrenas laterales, que constituyen formas alargadas en los flancos de las quebradas altas, pero generalmente se encuentran asociadas con depósitos fluvio-glaciares provenientes materiales más finos acarreados por la fusión de los glaciares.

e. *Aluviales recientes:*

Depósitos de esta clase, como producto de aluvionamientos, constituyen el suelo de la mayor parte de las llanuras y depresiones como en las pampas de Vitor (sobre conglomerado aluvial pleistocénico), en la Pampa del Cural, pampa Chiclayo, en Huanca y otros lugares.



También se encuentran ocupando el lecho y laderas de los diferentes riachuelos, quebradas y a lo largo de los valles principales, como Vitor, Chili y Yura, donde se observan terrazas bajas de pequeñas extensiones y algunos abanicos de deyección depositados por sus tributarios.

El material consiste principalmente de gravas o conglomerados poco consolidados, arenas y limos.

11.2.4 Rocas Ígneas Intrusivas

Formando parte del Batolito costanero, las rocas intrusivas dentro del área del cuadrángulo de Arequipa – 33s, constituyen una cadena montañosa que se extiende desde el límite Sur, hasta las proximidades del río Sigvas en el Norte, y está orientada de Noroeste con una longitud de 50Km y un ancho que varía de 7 a 17Km aproximadamente. Los cerros principales que conforman dicha cadena son: las Calderas, Huasamayo, Las Laderas y Torconta, estando los dos primeros al Sur del río Vitor y otros al norte del mismo.

Grupo gabrodiorita

El mayor afloramiento está situado entre los cerros Gloria y San Ignacio, prolongándose hacia el Sur dentro del cuadrángulo de la Joya. Otros afloramientos importantes están en el cerro Palco (al norte del río Vitor), en el borde occidental del Cerro Huasamayo, en Quishuarani y cerro Gloria. Exposiciones pequeñas, se hallan en los alrededores de Tiabaya y en la Urb. Hunter.

11.2.5 Geomorfología y Geodinámica Externa

La zona, donde se ubica en emisor Alata y la Planta de tratamiento, corresponden a terrazas fluvio aluvionales de aproximadamente 30 m de potencia, ubicados en la margen derecha del valle del Río Chili, cuyas unidades Litológicas de Base, (de abajo arriba) están constituidas por rocas ígneas denominadas Gabrodiorita (Ki-gbdi), que forman parte del batolito denominado “La Caldera”. Ignimbrita no soldada (Tp-vse-ns),



que es una roca volcánica piroclástica que forma parte de los volcánicos Sencca; además de conglomerados (Q-pl), depósitos sedimentarios y arena limosa (Qr-al-ar), material sedimentario clástico que es la unidad litológica más joven y que cubre a las unidades litológicas anteriores, razón por la cual se extiende sobre el 90% del área del proyecto.

Las unidades geológicas donde se emplazarán las estructuras de la Planta de Tratamiento de Aguas Servidas están constituidas por formaciones sedimentarias geológicas jóvenes, que no presentan estructuras tectónicas como fallas y fracturas, pliegues, etc., que puedan comprometer la estabilidad de las estructuras proyectadas. Las rocas ígneas (gabrodiorita) y volcánicas (ignimbrita no soldada), constituyen un substrato rocoso duro, competente, de buenas propiedades geotécnicas, de extensiones regionales que mejoran el entorno geomecánico del proyecto.

En el Perímetro Geomorfológico del área de estudio se puede identificar tres zonas:

Zona de Pampas. Caracterizada por presentar un relieve semi plano, con ligera inclinación hacia el sur-suroeste. Se extiende al oeste del río Chili, y alcanza el río Yura. Por el norte se extiende hasta los cerros Gramadal, Hualhuani y Labra. Por el sur se extiende hasta el Batolito La Caldera. De manera general, a esta superficie se denomina “Penillanura de Arequipa”. El Proyecto de la Planta de Tratamiento y el emisor Alata se desarrollarán en estas Zonas.

Las rocas presentes en esta zona son los Depósitos Fluvio-aluvionales Finos, restringidos a la Pampa de Tiabaya y la Puzolana que se extiende en la Pampa de Los Tunales, La Estrella y Escalerilla.

En esta zona no se encuentran fenómenos de geodinámica externa ni estructuras tectónicas que pongan en riesgo la seguridad del Proyecto.

Zona de Cerros. Esta zona se caracteriza por presentar un relieve accidentado de cerros y quebradas labradas en las rocas intrusivas del Batolito La Caldera y que limitan



con la Penillanura de Arequipa río Chili de por medio. En esta zona no se ha ubicado ninguna estructura del Proyecto.

Zona de Valle. Esta zona corresponde al valle del río Chili y se caracteriza por presentar un perfil longitudinal con cuatro direcciones: Desde Alata hasta Uchumayo. El perfil transversal del valle es asimétrico por lo que la inclinación de las laderas es variada. En la localidad de Alata la ladera izquierda es de poca inclinación (20° a 30°), mientras que la inclinación de la ladera derecha es mayor (60°).

En la localidad Los Tunales, la ladera derecha constituida por Ignimbrita no soldada presenta una inclinación de 50° a 60° . En este lugar se producen ocasionales desprendimientos de roca, los que serían producidos por efecto de sismos; lo que se puede evitar con un desquinche apropiado. La ladera izquierda, labrada en las rocas intrusivas del Batolito presenta una inclinación de 45° a 50° .

En la localidad de Uchumayo se presenta un perfil transversal de similares características al de Los Tunales. En esta zona la acción erosiva del valle se ha minimizado debido al volumen regulado de las aguas por las diferentes represas ubicadas en las zonas altas del valle.

11.2.6 Geología estructural

La tendencia Regional, sigue los grandes lineamientos Tectónico-Estructurales, ocurridos en la zona, concordante con la dirección NW del emplazamiento de los Andes, que se aprecia a través de imágenes satelitales y fotografías aéreas; Aspectos que son comentadas mas con criterios académicos, que prácticos, ya que de acuerdo a los propósitos del Proyecto, estas estructuras se encuentran lejos del sitio de Estudio.

La zona donde se emplazara la planta, esta constituido por suelos sedimentarios que no presentan pliegues, fallas, fracturas ni plegamientos o estructuras que puedan afectar o influenciar en el avance del Proyecto y/o proceso constructivo de las obras civiles. Las unidades sedimentarias que conforman las terrazas del área de la Planta, son sedimentos sobre compactados, consolidados de un buen comportamiento geomecánico



El contacto entre el intrusivo y la Ignimbrita que se observa en la margen derecha del río es de origen erosional.

11.2.7 Hidrogeología

En la Zona de estudio, y área de influencia; se puede generalizar un modelo hidrogeológico basado en apreciaciones de campo (afloramiento de manantiales) y Sondeos Diamantinos; nos muestran una Hidrogeología conformada de la siguiente manera:

El nivel freático en las planicies aluvionales recientes, que corresponden a la llanura derecha del valle del río Chili se encuentra a profundidad de 2 m.

Continuando en la sección, y ya en la parte que corresponde a la margen derecha, emplazada en rocas volcánicas correspondientes a la toba rosada y después del intrusivo gabrodiorítico, el nivel freático se encuentra a 6 m, para luego ir descendiendo a 15 y 25 m en Qda Honda, según las interpretaciones estaría pasando por debajo del actual cauce de la Qda de Añashuayco, de donde se podría inferir un nivel freático a la altura de Pampa Estrella, por debajo de los 50 m de profundidad.

En una garganta de la margen izquierda de la quebrada de Añashuayco a unos 200 m aguas abajo del trazo del colector, se presenta una fuerte descarga (aproximadamente $0.1 \text{ m}^3/\text{s}$), que brota a través de las fisuras de la toba blanca, que por intemperismo presenta una coloración rosácea, buena cementación y resistencia. Estas aguas en gran parte corresponden a las de infiltración de los terrenos de cultivo de la irrigación el Cural.

Esta toba, especialmente cuando está alterada o poco consolidada presenta propiedades físicas (porosidad, fracturamiento), que la constituyen en uno de los principales acuíferos de Arequipa, con porosidades del orden de 27.4 % a 54 % y permeabilidad de $7.1 \times 10^{-4} \text{ cm/s}$, transmisividad de $0.14 \times 10^{-2} \text{ m}^2/\text{s}$, con coeficientes de almacenamiento entre 0.12 a 0.22 (Ardiles, 2002).



En general el acuífero presente, es de tipo libre, y por las características granulométricas y mineralógicas debe tener una zona de ascensión capilar de apreciable espesor.

La recarga del acuífero se efectúa por infiltración de las aguas meteóricas en las partes altas de Arequipa (estribaciones del Chachani), la precipitación pluvial, y la filtración de las aguas de los terrenos de cultivo y canales de regadío. La descarga se realiza de manera natural, a través de percolación de quebradas que presentan terrazas escalonadas, o manantiales que resumen en el río Chili u otras quebradas y; de manera artificial a través de obras de captación.

a. Emisor Alata-Tunales

Al pie de talud de las escarpas, por donde atravesará el emisor, se observa la presencia de filtraciones y ojos de agua, debido a la presencia de formaciones permeables, constituidos por grietas y canales del sub suelo, así como la permeabilidad de la roca. Asimismo, por ser una zona perturbada o antrópicas por la cantidad de cultivos. El aprovechamiento del recurso hídrico es fuerte, y los niveles freáticos debido a los cultivos en algunos casos es alto (medio metro por debajo de la superficie actual). Estos niveles freáticos, son variables, dependiendo de las fechas de riego en cada zona.

Los resultados de prospección eléctrica, indican un flujo de aguas subterráneas producto de l riego continuo de los terrenos de cultivo de la zona que estaría localizado en los depósitos que comprenden fracciones gruesas (gravas y bolonería) ente los 5 y 30 m de profundidad, y encontrándose una estructura saturada los que constituiría un acuífero confinado; estos comentarios deberán ser tomados en cuenta para el diseño y proceso constructivo de la obra.

b. Planta Tunales

Dentro de la secuencia estratigráfica de la terraza donde se instalará la Planta de Tratamiento de Aguas Servidas, de abajo hacia arriba se tiene: intrusivo, ignimbrita rosada, conglomerado, arena limosa. En este sistema, el agua fluye libremente de arriba hacia abajo, y es en la ignimbrita rosada que hay un contacto,



y es por allí, si es que no hay fracturas verticales, que el agua brota, ya que atraviesa un medio altamente permeable como es la grava con bolonería. La construcción de la planta de bombeo, instalada junto a la escarpa inferior ha sido justamente aprovechando dicha característica.

Las investigaciones efectuadas, como son calicatas, sondajes rotatorios y SEV, han permitido definir un nivel de agua en parte en los sedimentos areno-limosos y bolonería, después del cual sigue un horizonte de ignimbrita no soldada, con humedad, sobreyaciendo a un otro horizonte de ignimbrita soldada y seguramente fracturada que parece ser el acuífero de la zona.

El agua superficial que discurre en la zona, que proviene de tres fuentes, citadas de este a oeste: catarata, quebrada principal y quebrada secundaria, actualmente se encuentra canalizada, por lo que los trabajos a efectuarse con fines del proyecto deben contemplar la mejoría en seguridad de dichos canales.

c. Pampa Escalerilla

No se ha detectado ningún nivel de aguas subterráneas, durante las investigaciones efectuadas, así como en los afloramientos naturales de las dos quebradas principales aledañas. El contacto Ignimbrita No Soldada - sillar podría actuar como un nivel inferior que favorecería al flujo subterráneo, comentario que se hace mas por criterio académico, que por observación de campo.

La descarga de agua hacia la quebrada La Escalerilla, en sus 4/5 partes de su longitud, va a discurrir sobre sillar, el cual presenta permeabilidad por fracturamiento en el orden de 10-4 cm/s.

11.2.8 Local

a. Emisor Alata-Tunales

La morfología del sitio del emisor, comprende terrenos que han sido formados por procesos fluvio aluvionales principalmente; la cual presenta además unas



montañas bajas que son parte del Batolito de la Caldera y que se encuentran al norte del emisor. El trazo de dicho emisor atraviesa el río Chili así como su correspondiente llanura de inundación y aluvional, también el paso por una planicie superior, así como de laderas y terrazas inferiores, hasta llegar al Sitio B, las cuales pueden observarse en los mapas siguientes:

FIGURA N° 5

EMISOR ALATA-TUNALES / MODELO DIGITAL

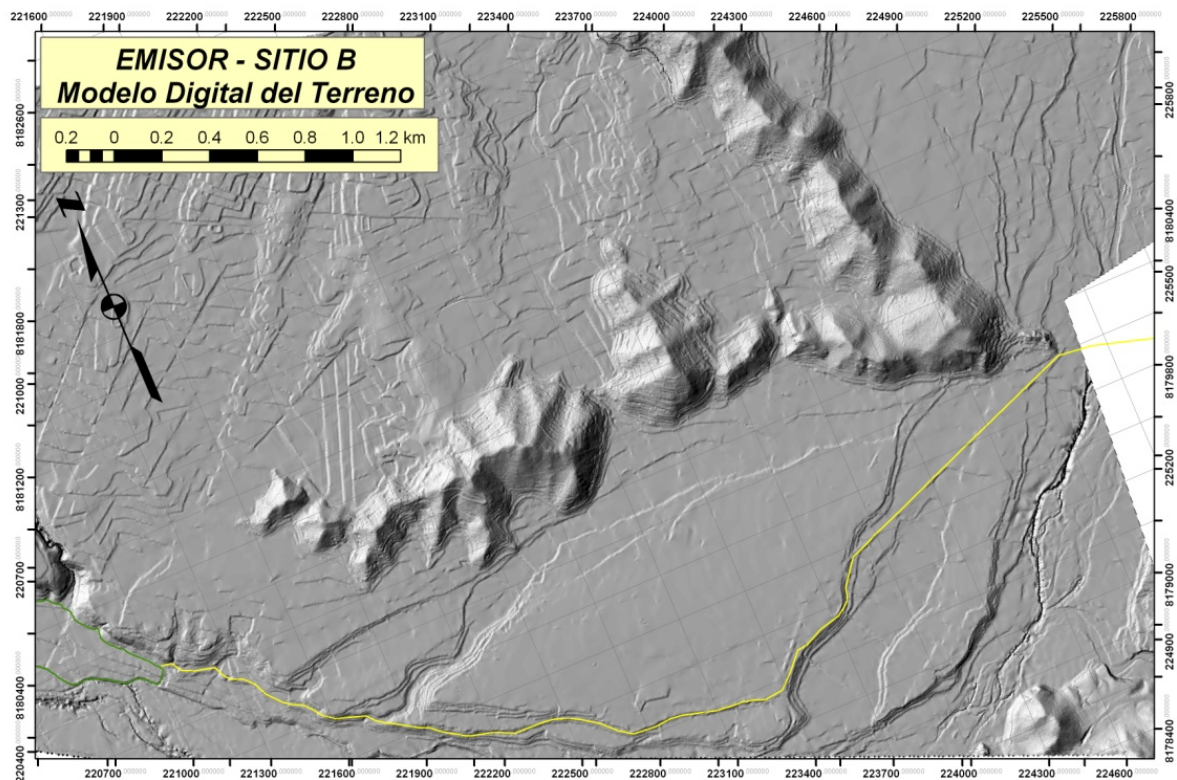
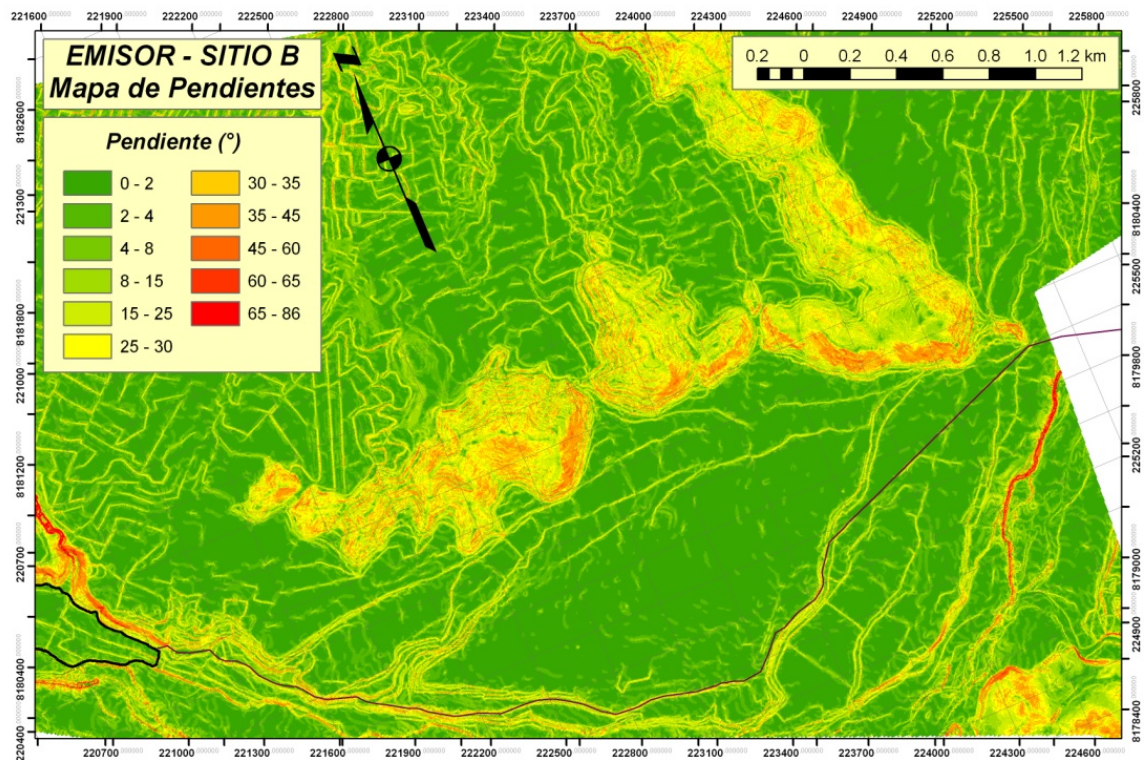




FIGURA N° 6

EMISOR ALATA-TUNALES / MAPA DE PENDIENTES



La secuencia estratigráfica donde se emplazara el emisor Alata-Tunales, está constituida por depósitos sedimentarios de diverso origen (fluvial, aluvial, flujo de escombros), que se encuentran estratificados en paquetes de diversos orígenes, cuyas potencias no superan los 4 m. Infrayaciendo a estos materiales sedimentarios se encuentra un basamento ígneo y volcánico de gran extensión, que no interferirán en la excavación del trazo

En general, la secuencia sobre la cual estará emplazado el emisor comprende a unidades litológicas constituidos por flujos de escombros, botonería, cantos, gravas, generalmente angulosos a sub-angulosos, que en algunos casos se encuentra moderada a fuertemente cementada por la presencia de sales solubles sulfatadas; sobre la cual o en extensión lateral existe bolonería fluvio aluvional, en matriz arenosa (de más o menos 4 m de espesor), y sobre la cual se encuentran materiales areno limosos de 2 a 4 m de espesor.



La cementación es predominantemente por sales solubles sulfatadas, no reaccionan al ácido clorhídrico.

b. Planta Tunales

Las condiciones geomorfológicas de la alternativa denominada Sitio B o Tiabaya, es una terraza que se encuentra aledaña al río Chili, y esta formada por procesos fluvio aluvionales, con una morfología formada por planicies y escarpas, tal como se puede observar en las siguientes figuras.

FIGURA N° 7

PLANTA TUNALES / MODELO DIGITAL

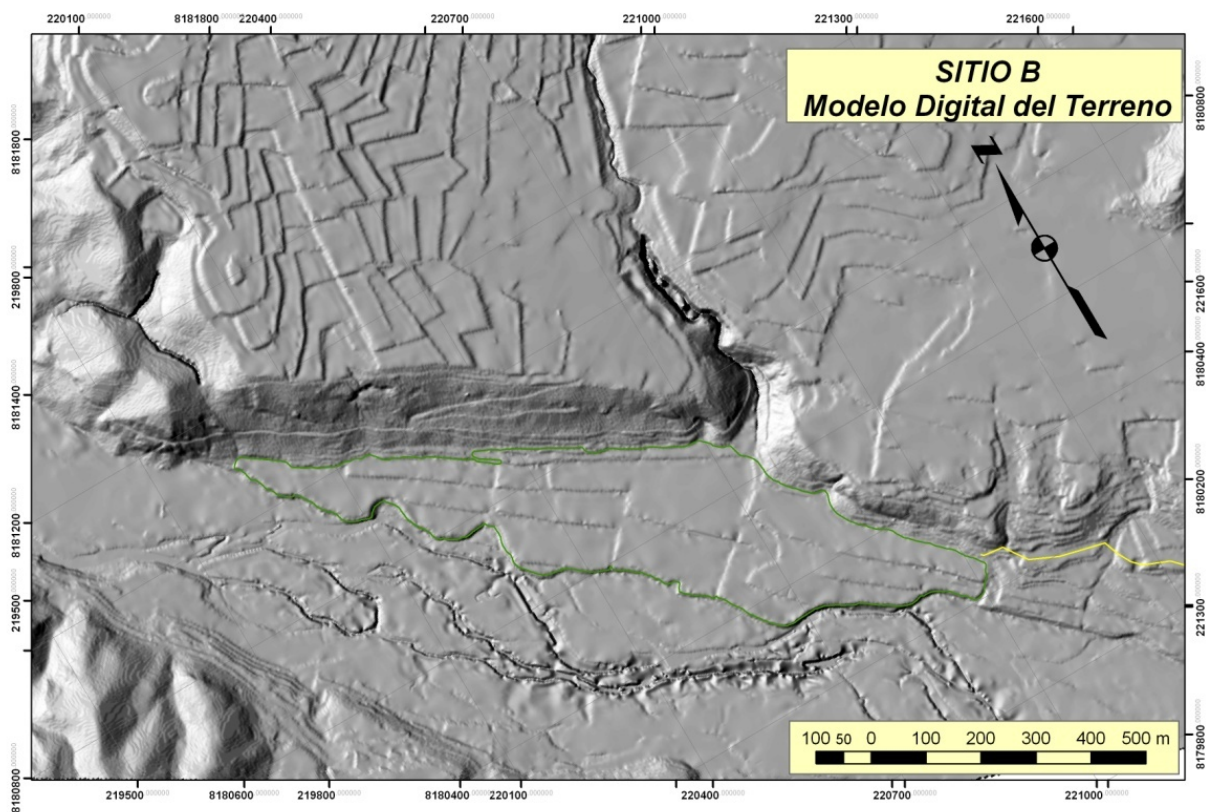
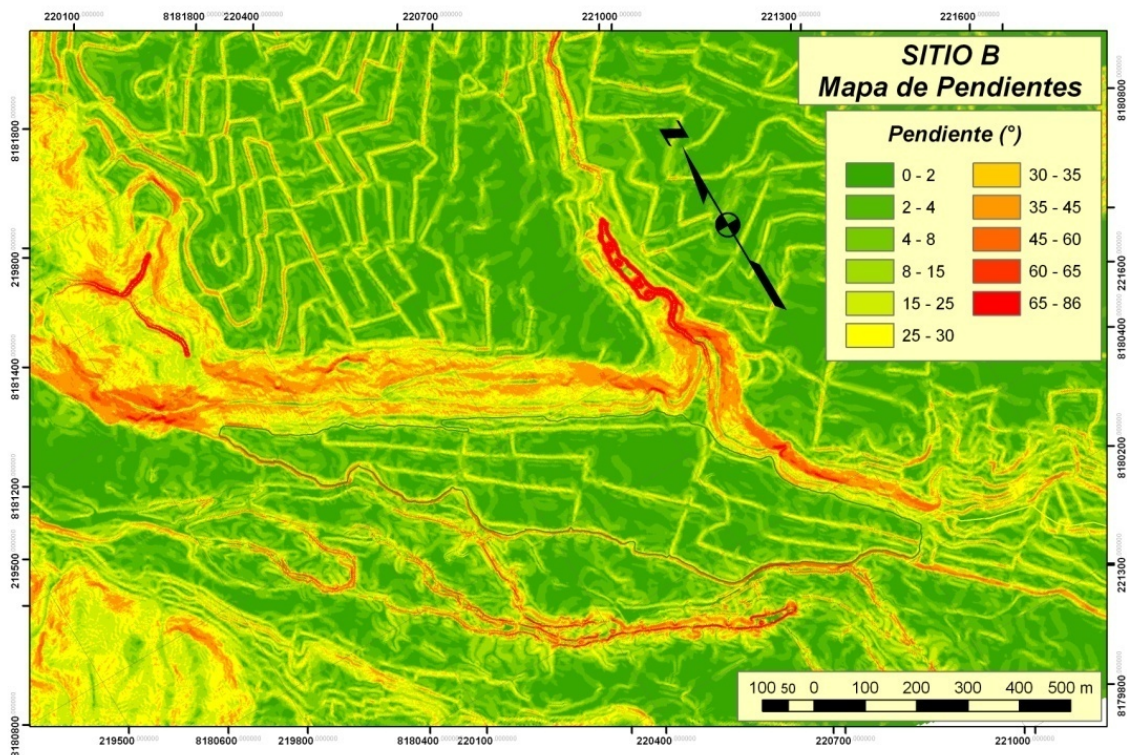


FIGURA N° 8
PLANTA TUNALES / MAPA DE PENDIENTES



Por sus características morfológicas, se han reconocido cinco unidades: planicie baja, escarpa inferior, planicie intermedia, escarpa superior y planicie alta

- La planicie baja, es aquella que comprende el cauce del río Chili y su llanura de inundación, esta ligeramente inclinada hacia la margen derecha (NE)
- Escarpa inferior; localizada entre la planicie baja y la media, que tiene un desnivel de hasta 15 m, es sub-vertical, donde se puede observar hasta cuatro unidades litológicas.
- La planicie intermedia, es una terraza fluvio aluvional, que se encuentra en un nivel superior a la anterior, dicha terraza ha sido modelada principalmente por procesos fluviales. Esta planicie es elongada en la dirección NW-SE, con longitud del eje mayor aproximado de 1,600 m, y ancho variable entre 100 a 200 m; es posible distinguir dentro de esta terraza de tres a cuatro sub-niveles, la cual se encuentra fuertemente antropizada.



- Escarpa superior; localizada entre la planicie intermedia y alta, presenta desnivel de hasta 80 m. Es posible distinguir pequeñas terracilla a manera de escalones, que han sido aprovechadas para el cultivo, especialmente en materiales detríticos de la roca allí presente (ignimbrita). En esta unidad se observan discontinuidades en sistemas conjugados, que generan la presencia de bloques rocosos.



FOTO N° 01:

ESCARPA SUPERIOR, NÓTESE EL FRACTURAMIENTO CONJUGADO EN LA IGNIMBRITA. PLANTA TUNALES

- La planicie alta, es aquella que se encuentra en la altiplanicie de Uchumayo y El Cural, que comprende a rocas ignimbriticas no soldadas.



FOTO N° 02:

**DEPÓSITOS DE FLUJOS DE ESCOMBROS, CEMENTADOS,
INICIO DE EMISOR ALATA**



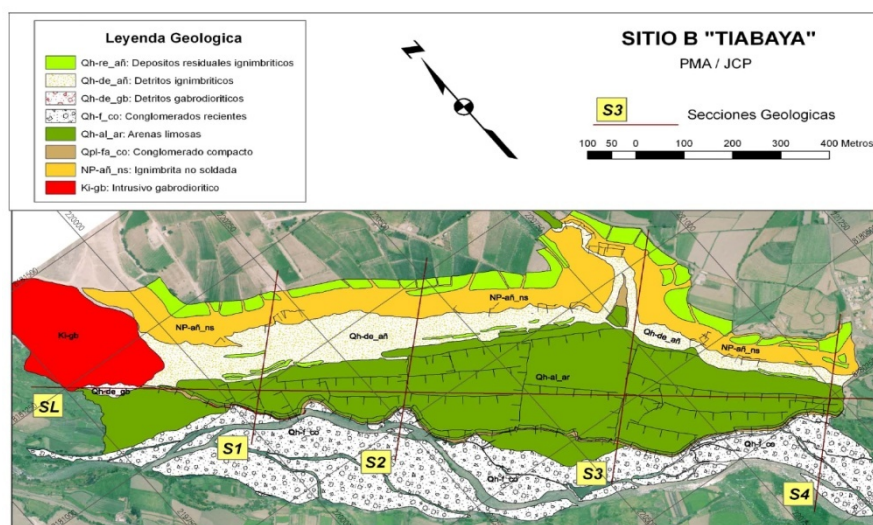
Geológicamente, en el extremo NW se presenta un afloramiento intrusivo de naturaleza gabrodiorítica, el cual se extiende por debajo de la terraza hasta una extensión horizontal aproximada de 400 m. A partir de allí es posible observar la presencia de roca volcánica, de naturaleza ignimbritica, la cual se localiza como basamento de la terraza y se extiende hacia el extremo SE o final de la terraza y también conforma la ladera superior y planicie alta del sitio del proyecto: sobre los anteriores se encuentran depósitos fluvio aluvionales, de ladera y depósitos residuales (ver mapa Geológico).

A continuación se describen dichas unidades litológicas:

Gabrodiorita (KTi-gbdi):

Son rocas básicas tempranas, que aflora en el extremo NW del Sitio B. Presenta las siguientes características mineralógicas: plagioclasa cálcica (40%), hornablenda (60%), cristales de grano medio y dureza 6. La meteorización ha formado una pátina de color pardo-verduzco, no presenta alteración química por lo que la roca se conserva fresca. Es una roca muy dura pues se requiere aplicar muchos golpes con el martillo para fracturarla. Se encuentra en superficie fracturada., en bloques de 0.8 x 0.4 x 0.6 m, así como en algunos casos masiva.

FIGURA N° 9
MAPA GEOLÓGICO SITIO B



Su presencia es notoria, desde su afloramiento principal en el extremo NW del Sitio B, hasta unos 500 m al SE.



FOTO N° 03:
EXTREMO NW



FOTO N° 04:
TRINCHERA T1



FOTO N° 05:
TRINCHERA T1B



FOTO N° 06:
TRINCHERA T2

Ignimbrita No Soldada (Tp-vse-ns)

La Ignimbrita No Soldada, aflora desde el pueblo de los Tunales y se extiende hacia el NE y NW; también es posible ver su presencia en la margen izquierda del río Chili.

Esta roca es en gran parte el basamento del sitio donde asienta el sitio del proyecto.



Su contacto con el intrusivo es en algunos tramos paralelo, en otros ondulados; con los conglomerados es en algunos casos hasta plano paralelo y en otros se ve cortado por regimenes torrenciales o canalicios.

Esta roca presenta la siguiente composición mineralógica: Minerales: plagioclasa sódica (15 %), sanidina (5 %), biotita (5 %). Fragmentos: líticos (10 %), pómez (5 %). Matriz: partículas vítreas de grano fino a muy fino (60 %).

Su color es rosado, en general pasa de rojizo a negruzco en superficie alterada por el agua principalmente.

La alteración producida por el agua, produce una disgregación de los componentes de esta roca, formándose un material mas suelto con textura arenosa.



FOTO N° 07:
TRINCHERA T2



FOTO N° 08:
TRINCHERA T3B



FOTO N° 09:
TRINCHERA T3

El agua que filtra desde los conglomerados, llega a la ignimbrita y en caso de no encontrar fracturas recorre paralela al contacto, pero ante la presencia de fracturas, especialmente sub-verticales es por ahí donde fluye, alterando y erosionando fuertemente.



FOTO N° 10:
TRINCHERA T6



FOTO N° 11:
TRINCHERA T6



FOTO N° 12:
TRINCHERA T6



FOTO N° 13:
TRINCHERA T6

Ya en la parte de la escarpa o ladera superior, la ignimbrita se presenta un poco más fresca, rosada, con fracturamiento sub-vertical, conjugado, sub-horizontal



FOTO N° 14:
IGNIMBRITA, FRACTURAMIENTO
SUB-VERTICAL, CATARATA



FOTO N° 15:
IGNIMBRITA, FRACTURAMIENTO
SUB-HOTIZONTAL, E-03

El contacto superficial de la ignimbrita con el intrusivo en el extremo NW, se encuentra en un cuello, a partir del cual se ha formado una zona de material mas suelto, con el aspecto de zona deformada o de movimiento de masa.



Conglomerado (Qpl-fa_co)

Este conglomerado, o material fluvio aluvional de textura gruesa: bolonería (30 - 40 %), cantos (30 - 40 %), grava (20 - 10 %), arena (5 - 10 %), de color gris, donde los clastos son en su gran mayoría sub-redondeados, sus principales componentes son rocas lavicas, e ígneas, en algunos casos presenta matriz es algo cementada, que podría ser mas antigua, y en otros casos es suelta. Mayormente presenta una estructura tipo clast-support. Con espesores de hasta 6 m.



FOTO N° 16: TRINCHERA T6

Arenas limosas (Qr-al_ar)

Estos depósitos, o material aluvional de textura fina: arenas (80 %), limos (10 %), bolonería (10 %), de color gris, suelta. Mayormente presenta una estructura tipo matrix-support. Con espesores de 3 a 5 m.

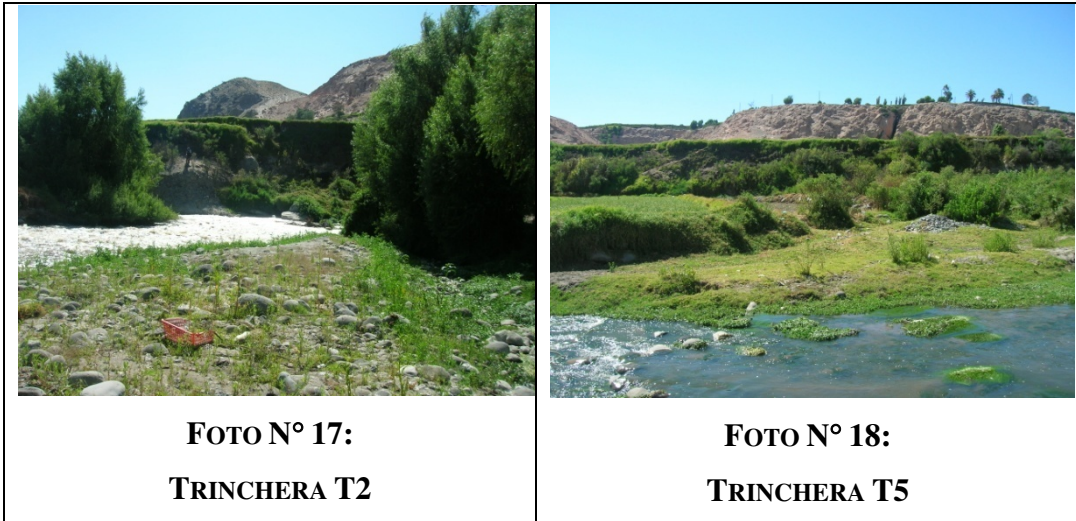
Es sobre estos depósitos que se asienta los cultivos presentes en la terraza, que tienen un espesor aproximado de medio metro.

Depósitos fluviales recientes (Qr-f_co)

Estos depósitos fluviales recientes, son los que se presentan en la planicie baja, es decir tanto en el cauce como llanura de inundación del río Chili. Son de textura gruesa: bolonería (60 - 70 %), gravas (20 - 30 %), arenas (10 - 20 %),



redondeados a sub-redondeados. Presenta una cobertura de arena limosa de hasta un metro, donde se desarrolla algo de agricultura, por debajo de la cual se presenta un grueso paquete de esta bolonería, suelta.



Detritos de ignimbrita (Qr-vse_de)

Estos depósitos son los que se encuentran principalmente en la ladera o escarpa superior y al pie de la misma, que se forman como degradación de la roca ignimbritica original, dando como resultado arenas y bloques sueltos. De espesor delgado, ± 0.50 m que se amplia al llegar al pie de talud ± 1.00 a 1.50 m.



FOTO N° 19: DETRITOS IGNIMBRITICOS



Detritos de intrusivo (Kti-gbdi_de)

Estos detritos se encuentran principalmente al pie de la ladera del afloramiento de la gabrodiorita, se ha formado tanto por su fracturamiento presente como los trabajos de corte del talud para instalar el canal de agua allí presente.

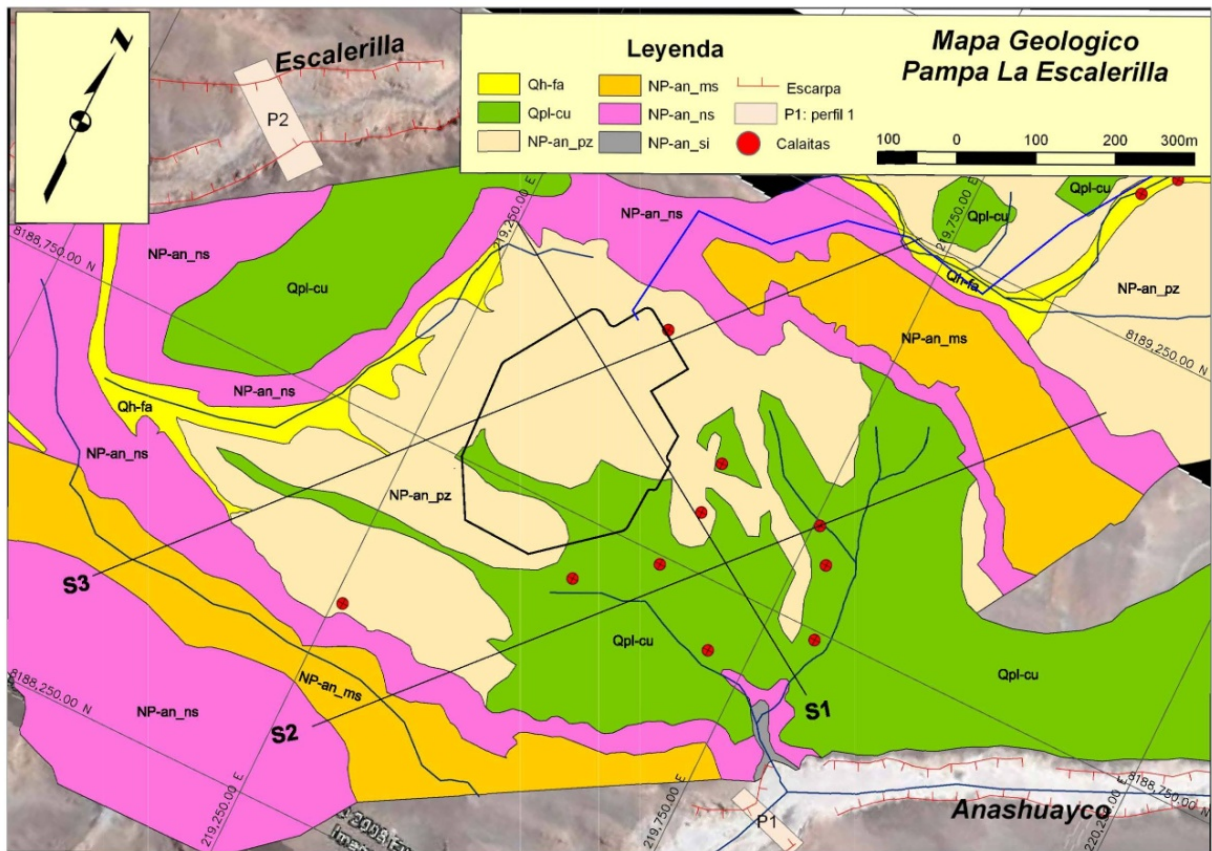
c. Pampa Escalerilla

El área se encuentra en una zona de depresión con una leve inclinación (2 -5° hacia el SW), limitado por dos quebradas denominadas Añashuayco y Honda, las que muestran afloramientos muy conspicuos en una estratigrafía monótona y repetitiva. La evolución geológica de la zona es fácil de predecir e interpretar, son rocas volcánicas piroclásticas conformadas predominantemente por Puzolana, ignimbrita rosada e ignimbrita blanca (sillar).

Morfológicamente es una planicie, de forma romboide, con longitud del eje mayor de 1,000 m, y ancho variable entre 500 m, que se encuentra rodeada de tres fuertes desniveles: 1) escarpa hacia el NE, 2) escarpa hacia el S, y 3) la actual quebrada Escalerilla. Se encuentra limitada por dos importantes quebradas: Añashuayco y Escalerilla. Esta planicie es ondulada, siendo mas hacia el extremo W.

La Planicie a ser aprovechada, que se encuentra rodeado por las tres escarpas, presenta un sector Este con menores ondulaciones que el sector Oeste.

FIGURA N° 10
MAPA GEOLÓGICO DE PAMPA LA ESCALERILLA



La secuencia estratigráfica del sitio pampa Escalerilla, de abajo hacia arriba comprende: ignimbrita soldada, ignimbrita no soldada, depósitos puzolánicos (± 8 metros), luego sigue una capa de ignimbrita soldada, y en la parte superior depósitos fluvio aluvionales.

Ignimbrita Soldada (Tp-vse)

La Ignimbrita Soldada, de color blanquecino aflora en la quebrada Añashuayco y Escalerilla por debajo de la Ignimbrita No Soldada. Es una roca de baja dureza pues se rompe con 2 o 3 golpes de martillo y tiene un espesor de más de 10 metros.

Ignimbrita No Soldada (Tp-vse-ns)

La Ignimbrita No Soldada aflora sobreyaciendo al sillar, es de color rosado y se oscurece ligeramente cuando se intemperiza. Es una roca blanda, pues se rompe



fácilmente con un solo golpe de martillo. No se observa alteración química en ella y tiene un espesor de 10 a 20 m.

Puzolana (Qr-vse-pz)

La meteorización presente en la Ignimbrita No Soldada, produce una disgregación de los componentes de esta roca, formándose un suelo “in situ” denominado Puzolana. Presenta espesores de hasta 15 m.

Depósitos aluviales plesitocénicos (Q- pl)

Esta unidad está constituida por una intercalación de estratos de arenas de elementos volcánicos, arenas conglomerádicas y conglomerados de clastos de mediano tamaño (15 a 20 cm) hasta pequeños (1 a 0.30 cm). Las arenas son predominantes sobre los conglomerados. Esta unidad es de origen aluvional y presenta un espesor variado (1 a 10 m), pues ha recubierto una superficie ondulada. Estos estratos están débilmente cementados por lo que resultan ser rocas blandas y con fuerte contenido de sales.

Depósitos Fluvio Aluvionales (Qr-f)

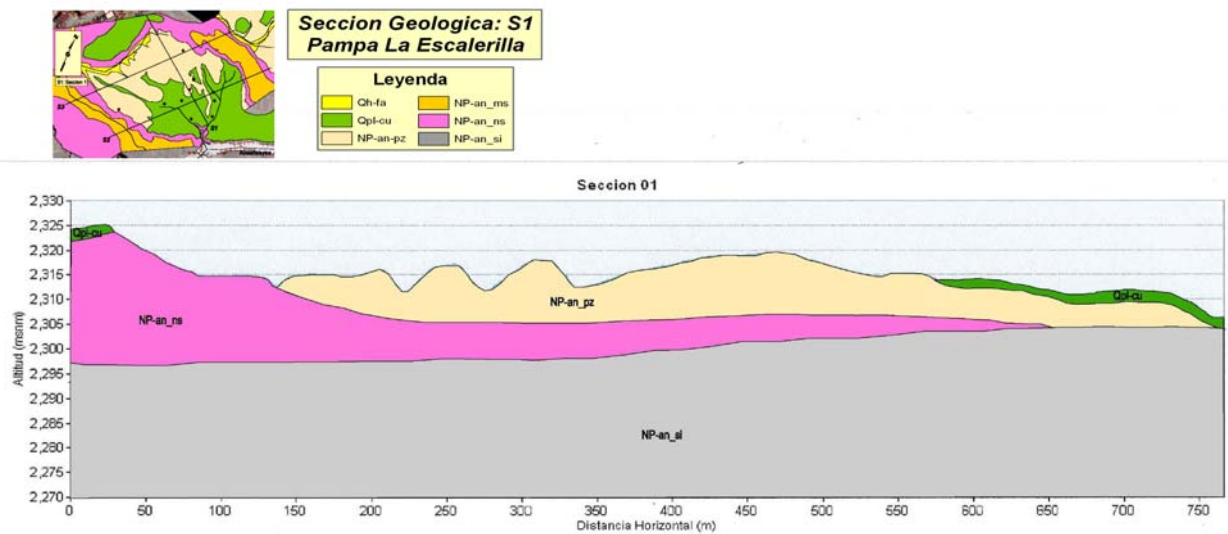
Esta unidad está constituida por las arenas, gravas, clastos, cantos y bloques sub-angulosos hasta redondeados de rocas volcánicas que se encuentran ubicados a lo largo de las quebradas y alcanzan un espesor estimado de 1.0 a 0.5 m. Es una unidad inconsolidada.

Las siguientes secciones muestran la disposición de las principales unidades litológicas presentes en Pampa La Escalerilla



FIGURA N° 11

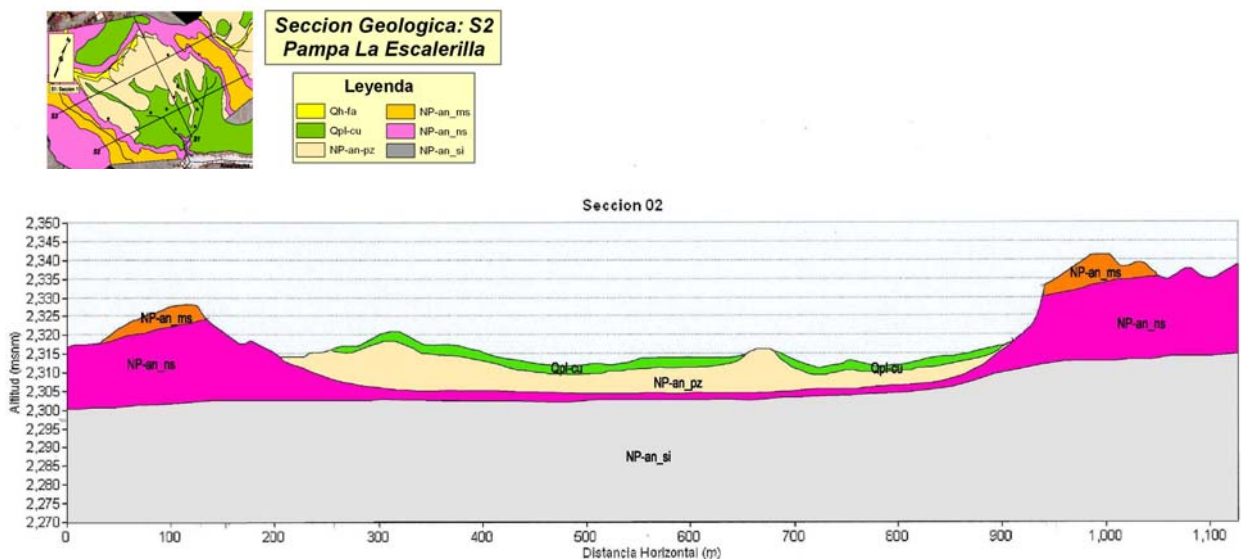
SECCIÓN GEOLÓGICA 01 (NW-SE), PAMPA LA ESCALERILLA



En la sección anterior se puede apreciar que el terreno que corresponde a Pampa La Escalerilla es mucho mas ondulado hacia el extremo W, donde actualmente se localizaría la planta. El extremo E, es menos ondulado.

FIGURA N° 12

SECCIÓN GEOLÓGICA 02 (SW-NE), PAMPA LA ESCALERILLA



También se han levantado dos secciones (P1 y P2), en las dos quebradas: Añashuayco y Escalerilla, que muestran la secuencia estratigráfica del área.



11.3 GEOTECNIA

En la fase de la Ingeniería Básica de la alternativa seleccionada, se completó el programa de investigaciones realizado durante las etapas de prefactibilidad y factibilidad, comenzando por la geología detallada en los sitios de las obras, desarrollando las investigaciones directas e indirectas complementarias, el recojo de muestras, los análisis de laboratorio y la evaluación parcial e integral de todos los resultados.

Los trabajos fueron realizados en dos periodos; de Noviembre de 2007 a febrero de 2008 y de abril a julio de 2008.

Los estudios de geología y geotecnia confirmarán que los sitios escogidos para las obras son competentes para la fundación de las estructuras propuestas, y cuando fue necesario se considerarán medidas de tratamiento.

Las investigaciones de campo se apoyaron en los levantamientos topográficos locales de cada sitio, lo cual consideraron a las Plantas Tunales y Escalerilla e incluyeron sus respectivos emisores.

En el desarrollo de los trabajos, se contó con la participación de la Universidad San Agustín – UNSA (Arequipa), la universidad Católica de Santa María – UCSM (Arequipa) y la Universidad Nacional de Ingeniería – UNI (Lima), para la toma de muestras y análisis de laboratorio, y ejecución de trabajos geofísicos como Sondajes Eléctricos Verticales y Refracción Sísmica.

Entre los análisis de laboratorio realizados se tienen los siguientes, y cuyos resultado se muestra como anexo.

Ensayo	Nº de Ensayos	ASTM
Descripción e Identificación de Suelo		D-2488
Granulometría	6	D-1556
Limites Líquido y Plástico	6	D-4318
Clasificación SUCS	6	D 2487
Densidad de Campo In Situ	3	D-1556
Gravedad Específica	2	D-854
Densidad Máxima	6	D-2049
Densidad Mínima	6	D-2049



Ensayo	N° de Ensayos	ASTM
Corte Directo	2	D-3080
Agresividad: Cloruros	2	NTP 339.177
Agresividad: Sulfatos	2	NTP 339.178
Agresividad: Sales Solubles	2	NTP 339.152
Colapso	1	D-5333
Compresión	1	*
Permeabilidad	2	*
Proctor Estándar	2	D-698

Los estudios llevados a cabo; así como, la cantidad de investigaciones efectuadas en la Planta Tunales y Escalerilla, incluido sus respectivos emisores, han permitido mostrar una geología muy clara y simple, por lo que el cartografiado geológico planteado inicialmente en los estudios de prefactibilidad y factibilidad con respecto a las apreciaciones finales ha tenido mínimas variaciones. Los aspectos geológico-geotécnicos, o puntos singulares, que podrían afectar al proyecto, especialmente en el Sitio de ubicación de la Planta Tunales (Sitio B), son de poca complejidad. En Pampa “La Escalerilla” las dificultades son menores. En ese sentido el presente estudio muestra dichas condiciones para que el Proyectista incorpore el conocimiento geológico-geotécnico del “sitio” a la Planificación, Diseño y Construcción de la Obra.

Finalmente, con la información recolectada de los ensayos y trabajos de campo, se han elaborado planos de interpretación geológica - geotécnica para cada una de las plantas, indicando la ubicación y profundidad de las estructuras proyectadas.

En el ámbito del Proyecto (Plantas Tunales y Escalerilla con sus respectivos emisores) no se han encontrado elementos perturbadores (fallas, pliegues, contactos geológicos, estructuras, etc) que pongan en riesgo la ejecución del proyecto, por lo que el Proyecto es técnicamente viable.

Entre los puntos de importancia relevante, tenemos el cálculo de la capacidad portante del terreno, que ha tenido como base las apreciaciones de campo y los resultados de los ensayos de laboratorio. Además se ha incluido la presión que se ejercerá sobre el terreno de fundación, siendo esta último menor que la capacidad admisible del terreno.

El objetivo del estudio es determinar la litología del subsuelo de cimentación en que estarán cimentadas las diferentes estructuras que comprende el proyecto, así como la determinación de sus parámetros físicos, mecánicos o de resistencia, características



químicas y de consolidación, con la finalidad de obtener los elementos necesarios para el diseño de fundaciones, igualmente dar las medidas de diseño y constructivas, más adecuadas de acuerdo al tipo de formación geológica encontrada.

11.3.1 Características Geotécnicas de los materiales de Fundación

a. De las puzolanas (Pampa Escalerilla)

Dado que la Puzolana es uno de los materiales de mayor presencia en Pampa La Escalerilla, es que se ha ampliado algunos conceptos respecto a las mismas, que permitirán un mayor entendimiento. Estos materiales se describen a continuación:

Las *puzolanas naturales* son petro-gráficamente complejas. Fundamentalmente constan de una fase vítrea, que segmenta fragmentos de pómez, escoria y pequeños cristales de silicatos, como sanidina, augita, leucita, mica, magnetita, piroxeno, etc. Dentro de las puzolanas naturales tenemos las puzolanas volcánicas, que se enfriaron rápidamente al aire, siendo generalmente más o menos vítrea y por tanto de carácter meta-estable.

b. De las arenas (Tunales)

La mayor parte de las estructuras proyectadas en la Planta del sitio B (Los Tunales) se fundarán sobre arenas limosas, tal como se muestra en los planos de interpretación geológica - geotécnica. Actualmente son usadas como suelos agrícolas con alto contenido de humedad por el continuo riego y la existencia de canales sin revestimiento. Su potencia promedio varía desde los entre 0.5 hasta 1m.

c. De los conglomerados (Tunales)

Uno de los estratos sobre el cual se cimentarán algunas de las estructuras proyectadas para la planta Tunales y la mayoría de los buzones de su emisor (incluyendo los pilares del acueducto) son los conglomerados con presencia de bolonería de gran tamaño y que tiene origen fluvial aluvional, que se encuentran en un nivel inferior al estrato de arenas y superior al estrato de ignimbrita.



Geotécnicamente, los conglomerados se caracterizan por presentar un buen comportamiento geotécnico ante solicitaciones exteriores extremas y presentar estabilidad de a cortes.

Este estrato se encuentra aproximadamente a una profundidad variable entre 3 a 5 m sobre el nivel actual del terreno, siendo dificultosa la extracción de muestras, aun con uso de equipos, por presentar bolonería de gran tamaño.

El emisor proyectado Alata-Tunales a diferencia de la Planta Tunales tendrá su cimentación fundada en material fluvio aluvional por superar los 5 m de profundidad, generando mejores condiciones que lo ya visto con la Planta. De igual manera, las condiciones del suelo para el emisor Escalerilla mejoran con la profundidad que presentan los buzones proyectado.

11.3.2 Capacidad Portante

La información de campo y los análisis de laboratorio, tanto de la Universidad Católica de Santa María - UCSM (Arequipa), y la Universidad Nacional de Ingeniería - UNI (Lima), han sido la base para el cálculo de la capacidad portante de los suelos. A continuación se presenta la capacidad portante del terreno para las diferentes estructuras de la Planta de Tratamiento de Tunales y Escalerilla.

La capacidad admisible por corte se ha obtenido por formulaciones conocidas y con base en las propiedades obtenidas en campo (densidad natural) y laboratorio (ángulo de fricción interna). Las hojas de cálculo se encuentran en el Anexo N° 10.

Para el cálculo de la capacidad portante de los terrenos en el Sitio B, se ha identificado los materiales sobre los cuales se cimentará las estructuras de la siguiente manera:

TABLA N° 7

IDENTIFICACIÓN DE LOS MATERIALES DE CIMENTACIÓN

1	RELLENO
2	MATERIALES LIMO-ARENOSO
3	MATERIAL GRAVOSO EN MATRIZ LIMO -ARENOSO
4	MATERIAL GRAVOSO CON BOLONES DE DIFERENTE DIMENSIONES
5	MATERIAL VOLCANICO (IGNIMBRITA ROSADA)
6	MATERIAL INTRUSIVO



Los niveles freáticos en la zona de la Planta Tunales se verán reducidos por la falta de riego en la zona donde se ubicarán las obras. Sin embargo, el riego en las zonas altas y aledañas a la Planta mantendrá un riego continuo, el cual mantendrá un flujo de aguas subterráneas hacia las zonas bajas, donde se ubica la Planta. El sistema de drenaje proyectado deberá ser instalado un metro (1) por debajo de la cota inferior de las estructuras proyectada, manteniendo el nivel freático fuera del área de contacto de acción de presión de las estructuras sobre el terreno.

El acueducto del emisor Alata-Tunales está conformado por Estribos y Pilas, las cuales se encuentra cimentadas a una profundidad de 2 m en el caso de los estribos, y de 3 m en el caso de los pilares, siendo el material de fundación material considerado como Gravoso con bolones de diferentes dimensiones, considerado de buenas propiedades geotécnicas. La capacidad portante de del terreno para los estribos y pilares es de 2.24 y 2.88 kg/cm² respectivamente.

El material sobre el cual se cimentarán las estructuras en la Pampa Escalerilla es en su totalidad Puzolana. En la zona de ubicación de la Planta Escalerilla y su emisor se descarta la presencia de nivel freático. Esto se puede verificar considerando la profundidad de las quebradas cercanas (Escalerilla y Añashuayco) que tienen una profundidad aproximada a los 30 m.

La capacidad de carga se ha analizado usando la fórmula de Terzaghi (1967:

$$q_u = S_c C N_c + S_\gamma \frac{1}{2} \gamma B N_\gamma + S_q \gamma D_f N_q \quad ; \quad q_{ad} = \frac{q_u}{F_s}$$

Donde:

- q_u = capacidad última de carga
- q_{ad} = capacidad admisible de carga
- F_s = factor de seguridad = 3
- γ = peso unitario del suelo
- B = Ancho de la cimentación
- L = Longitud de la cimentación
- C = Cohesión



- D_f = profundidad de cimentación
 N_c, N_γ, N_q = parámetros de capacidad portante en función de ϕ
 S_c, S_γ, S_q = factores de forma (Vesic, 1979),
 ϕ = ángulo de fricción

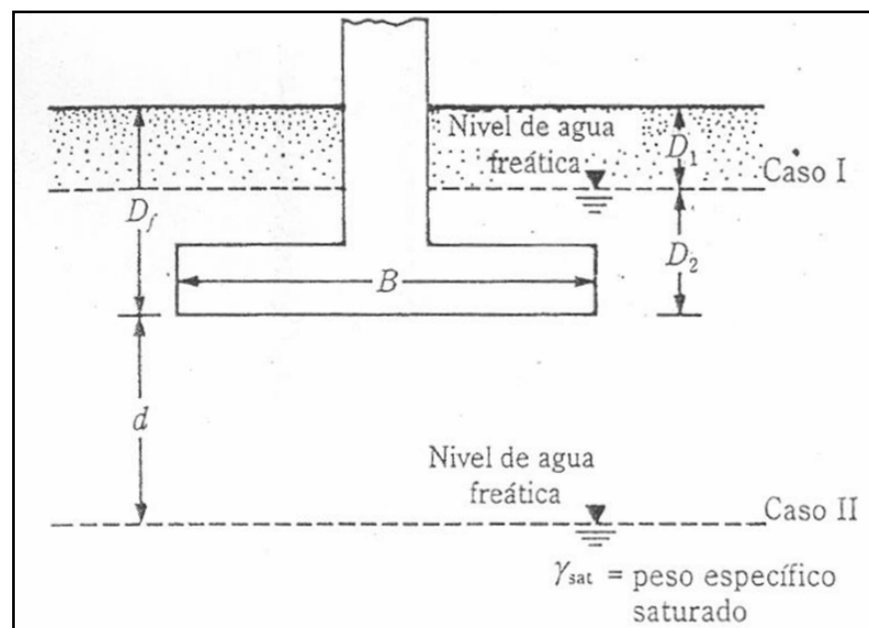
$$S_\gamma = 1 - 0,4 \left(\frac{B}{L} \right)$$

$$S_q = 1 + \operatorname{tg} \phi \left(\frac{B}{L} \right)$$

$$S_c = 1 + \left(\frac{N_q}{N_c} \right) \times \left(\frac{B}{L} \right)$$

Las ecuaciones para el cálculo de la capacidad de carga última presentadas fueron desarrolladas bajo la hipótesis de que el nivel freático esté localizado muy debajo de la cimentación. Sin embargo, si el nivel freático está cerca de la cimentación, será necesario modificar las ecuaciones de capacidad de carga, dependiendo de la ubicación del nivel freático.

FIGURA N° 13
MODIFICACIONES DE LAS ECUACIONES DE
CAPACIDAD DE CARGA POR PRESENCIA DE NIVEL FREÁTICO





De los cuatro sectores investigados, se encontró presencia de nivel freático solamente en el sector “Tunales”, tal y como muestran las perforaciones realizadas en dicha zona. Para deprimir el nivel freático se ha proyectado la colocación de drenes horizontales 1m por debajo del nivel de cimentación. Para los análisis de cimentación se consideró que el nivel freático se encuentra al nivel de cimentación

En el siguiente cuadro se presenta en resumen los análisis de cimentación realizados:



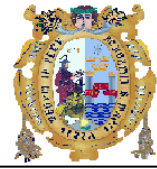
CUADRO N° 10
CAPACIDAD PORTANTE: PLANTA TUNALES

Descripción	Simbología de estructuras	Cota de Terreno Natural	Cota de Cimentación	Cota de Plataforma final	Profundidad de Cimentación (Df)	Altura a escavar para cimentar	Tipo de Terreno a Cimentar	A x L de Cimentación	Ángulo de Fricción Interna ϕ	Ángulo de Fricción Interna Mod. ϕ_r	Carga Última Q_u	Capacidad Admisible	Presión sobre el suelo (qact)
		msnm	msnm	msnm	m	m	----	m	(°)	(°)	(kg/cm ²)	kg/cm ²	
Distr. Sec. de los Rafas	R1	2086.74	2080.75	2084.00	3.25	5.99	2	7.44 x 7.44	30.2	21.3	5.71	1.90	0.77
Rafa	R1-1	2090.18	2085.30	2087.00	1.7	4.88	2	12.0x12.0	30.2	21.3	3.64	1.21	0.82
Distribuidor Tanque para Aireación	D-PA	2087.01	2078.53	2083.50	4.97	8.48	2	5.75x7.85	30.2	21.3	7.77	2.59	0.62
Tanque de pre-aireación	T-1	2087.05	2078.49	2083.50	5.01	8.56	4	18.0x18.0	30.2	21.3	9.31	3.10	0.98
Distr. Prin. Filtros Biológicos	D-F	2079.02	2072.25	2078.50	6.25	6.77	1,2,4	3.6x10	30.2	21.3	4.28	1.43	0.78
Distr. Sec. Filtros Biológicos	F1	2080.70	2072.61	2078.50	5.89	8.09	2	3.30x7.80	30.2	21.3	4.06	1.35	0.83
Filtro Biológico	F1-1	2081.32	2073.05	2078.50	5.45	8.27	4	2.0x30.0	30.2	21.3	5.48	1.83	0.82
Distr. Prin. Sedimentadores	D-S	2073.84	2067.17	2071.00	3.83	6.67	4	4.80x8.66	30.2	21.3	5.66	1.89	0.98
Distr. Sec. Sedimentadores	S1	2077.00	2064.05	2071.00	6.95	12.95	4	3.45x9.0	30.2	21.3	4.86	1.56	0.65
Sedimentador Secundario	S1-1	2072.02	2063.48	2071.00	7.52	8.54	4	2.0x30.0	32	22.7	2.11	0.70	0.65
Estación de Bombeo Filtros	EB-F	2069.60	2065.35	2071.00	5.65	4.25	2	3.10x4.60	30.2	21.3	8.37	2.79	0.87
Tanque de Natas	T-N	2065.37	2061.64	2071.00	9.36	3.73	1	7.6x12.0	30.2	21.3	13.45	4.48	0.46
Estación de Bombeo	EB-O	2070.15	2064.35	2070.00	5.65	5.80	1	6.0x11.60	30.2	21.3	5.53	1.84	0.70
Cámara de Efluente	C-EF	2070.53	2065.75	2070.00	4.25	4.78	1	4.4x6.6	30.2	21.3	6.91	2.30	0.46
Desinfección uv	U-V	2070.50	2066.07	2070.00	3.93	4.43	1	2.75x12.0	30.2	21.3	3.77	1.26	0.70



CUADRO N° 11
CAPACIDAD PORTANTE: PLANTA ESCALERILLA

Descripción	Simbología de estructuras	Cota de Terreno Natural	Cota de Cimentación	Cota de Plataforma final	Profundidad de Cimentación (Df)	Altura a escavar para cimentar	A x L de Cimentación	Ángulo de Fricción Interna ϕ	Ángulo de Fricción Interna Mod. ϕ_r	Carga Última Q_u	Capacidad Admisible	Carga sobre el suelo (qact)
		msnm	msnm	msnm	m	m	(°)	(°)	(kg/cm ²)	kg/cm ²	(°)	kg/cm ²
Pre tratamiento	D-R	2329.00	2328.83	2332.00	3.10	0.17	4.40x12.0	31.5	22.3	4.89	1.63	0.60
Rafa	R1-1	2326.68	2323.30	2325.00	1.70	3.38	9.0x36.0	31.5	22.3	4.76	1.59	0.58
Distribuidor tanque pre aireación	D-PA	2325.00	2322.35	2325.00	2.60	2.65	4.80x8.10	31.5	22.3	4.52	1.51	0.82
Tanque de pre-aireación	T-1	2324.00	2320.35	2325.00	1.8	3.65	8.60x8.60	31.5	22.3	4.37	1.46	0.62
Distr. Princ. A los filtros biológicos	D-F	2324.90	2320.35	2325.00	2.30	4.55	7.30x7.30	31.5	22.3	4.79	1.60	0.98
Distr. Sec. A los filtros biológicos	F1	2325.00	2320.10	2325.00	2.45	4.90	7.4x7.4	31.5	22.3	5.02	1.67	0.78
Filtros biológicos	F1-1	2325.00	2319.51	2325.00	4.50	5.49	2.0x30.0	31.5	22.3	5.29	1.76	0.83
Distr. Princ. a los sedimentadores	D-S	2325.00	2312.70	2318.00	2.40	12.30	7.0x7.0	31.5	22.3	4.87	1.62	0.82
Distr. Sec. A los sedimentadores	S1	2323.50	2313.15	2318.00	2.80	10.35	6.75x6.75	31.5	22.3	5.37	1.79	0.98
Sedimentadores	S1-1	2324.00	2311.42	2318.00	3.95	12.58	2.0x30.0	31.5	22.3	4.73	1.58	0.65
Sistema de desinfección UV	UV	2322.00	2313.90	2317.00	2.50	2.80	2.0x30.0	31.5	22.3	4.26	1.42	0.70
Tanque de natas	TN	2323.00	2310.63	2317.00	6.00	12.37	5.60x9.60	31.5	22.3	8.93	2.98	1.17
Estación de bombeo de lodos	EB-L	2323.02	2314.80	2317.00	2.10	8.22	3.10x3.60	31.5	22.3	3.55	1.18	0.87
Estación de bombeo	EB-O	2321.00	2314.83	2317.00	2.10	6.17	3.10x3.60	31.5	22.3	3.55	1.18	0.77



CUADRO N° 12
CAPACIDAD PORTANTE: ACUEDUCTO Y EMISORES

Descripción	Tipo de suelo	Df (m)	B x L (m)	ϕ (°)	ϕ_f (°)	Q_u (kg/cm ²)	q_{ad1} (kg/cm ²)
Buzón Típico	GW-GP	5.0	4.2X4.2	32	22.7	12.15	4.05
Buzón de Caída Típico	GW-GP	7.0	4.0X4.0	32	22.7	16.38	546
Buzón de Conexión con Colector	GW-GP	5.0	5.0x5.0	32	22.7	12.59	4.20
Estibo Acueducto	GW-GP	2.0	2.0x4.0	32	22.7	6.71	2.24
Pilares Acueducto	GW-GP	3.0	2.0x3.6	32	22.7	8.65	2.88

11.3.3 Análisis de Asentamientos

La gran mayoría de los problemas de fundación de estructuras están relacionados con una predicción pobre del comportamiento del suelo o de la estructura en contacto con el suelo o soportada por éste.

De manera general, entre los daños relacionados con el comportamiento tenemos los asentamientos excesivos debidos a la presencia de suelos blandos, peso excesivo, pobre cimentación y suelos colapsables.

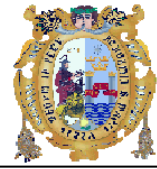
La base de fundación para el Proyecto es de relevante importancia, habiéndose realizado inferencias previas y ensayos de laboratorio a las muestras rescatadas de las calicatas efectuadas en la zona a una profundidad representativa. Tenemos:

Planta Tunales

Correspondiente al denominado Sitio “B”, el cual corresponde a zonas agrícolas en continuo riego, infiriéndose de manera preliminar el reacomodo de las partículas (arenas limosas), descartándose posibles asentamientos post construcción.

Planta Escalerilla

La Zona de Pampa Escalerilla corresponde a tierras eriazas en proceso consolidación, que en los meses de precipitaciones recibe un alto grado de humedad. De igual manera, de los resultados de los diferentes ensayos practicados, se descarta algún tipo de asentamiento post construcción.



Capacidad admisible por asentamiento

Se ha adoptado el criterio de limitar el asentamiento de la cimentación a 2", para cimentaciones con losas y de máximo 1" para cimentaciones en zapatas. Lambe (1994) pág. 219.

Para el cálculo del asentamiento se ha considerado las siguientes relaciones:

$$S_i = \frac{q_{ad} B (1 - \mu^2)}{E_s} I_f \quad ; \quad I_f = \frac{\sqrt{L}}{B_z}$$

Donde:

- S_i : Asentamiento producido en cm
- μ : Coeficiente de Poisson = 0.25
- I_f : Factor de forma (cm/m)
- E_s : Módulo de elasticidad (kg/cm²)
- q_{ad} : Capacidad admisible (kg/cm²)
- B : Ancho de la cimentación
- L : Longitud de la cimentación
- B_z : Parámetro en función de las dimensiones de la cimentación

Teniendo en cuenta la metodología del asentamiento y los parámetros considerados, se obtiene los siguientes resultados:

CUADRO N° 13
CÁLCULO DE LA CAPACIDAD ADMISIBLE POR ASENTAMIENTO TUNALES

Descripción	Simbología de Estructuras	B x L (m)	μ	E (kg/cm ²)	q_{ad1} (kg/cm ²)	S_1 (cm)	q_{ad} (kg/cm ²)	S_i (cm)
Distr. Sec. de los Rafas	R1	7.44 x 7.44	0.27	150	1.90	8.13	1.15	4.92
Rafa	R1-1	12.0x12.0	0.27	150	1.21	8.37	0.72	4.97
Distribuidor Tanque para Aireación	D-PA	5.75x7.85	0.27	200	2.59	7.40	1.75	4.98
Tanque de pre-aireación	T-1	18.0x18.0	0.27	200	3.10	24.08	0.64	4.97
Distr. Prin. Filtros Biológicos	D-F	3.6x10	0.27	150	1.43	4.63	1.43	4.63
Distr. Sec. Filtros Biológicos	F1	3.30x7.80	0.27	150	1.35	3.76	1.35	3.76
Filtro Biológico	F1-1	2.0x30.0	0.27	200	1.83	4.09	1.11	2.49



Descripción	Simbología de Estructuras	B x L (m)	μ	E (kg/cm ²)	q_{ad1} (kg/cm ²)	S_1 (cm)	q_{ad} (kg/cm ²)	S_i (cm)
Distr. Prin. Sedimentadores	D-S	4.80x8.66	0.27	150	1.89	6.80	1.38	4.97
Distr. Sec. Sedimentadores	S1	3.45x9.0	0.27	150	1.56	4.73	1.56	4.73
Sedimentador Secundario	S1-1	2.0x30.0	0.27	150	0.70	2.10	0.7	2.10
Estación de Bombeo Filtros	EB-F	3.10x4.60	0.27	200	2.79	4.46	1.56	2.50
Tanque de Natas	T-N	7.6x12.0	0.27	200	4.48	18.08	1.23	4.96
Estación de Bombeo	EB-O	6.0x11.60	0.27	150	1.84	8.56	1.07	4.97
Cámara de Efluente	C-EF	4.4x6.6	0.27	150	2.30	7.01	1.64	4.99
Desinfección uv	U-V	2.75x12.0	0.27	150	0.93	2.76	0.84	2.48

En el anexo de capacidad portante, se presenta los cálculos presentados en los cuadros anteriores.

CUADRO N° 14

CÁLCULO DE LA CAPACIDAD ADMISIBLE POR ASENTAMIENTO TUNALES

Descripción	Simbología de Estructuras	B x L (m)	μ	E (kg/cm ²)	q_{ad1} (kg/cm ²)	S_1 (cm)	q_{ad} (kg/cm ²)	S_i (cm)
Pre tratamiento	D-R	7.44 x 7.44	0.27	150	1.63	6.42	1.26	4.96
Rafa	R1-1	12.0x12.0	0.27	150	1.59	14.85	0.53	4.96
Distribuidor tanque pre aireación	D-PA	5.75x7.85	0.27	150	1.51	5.28	1.42	4.97
Tanque de Pre-aireación	T-1	18.0x18.0	0.27	150	1.46	7.20	1.01	4.99
Distr. Princ. A los Filtros Biológicos	D-F	3.6x10	0.27	150	1.60	6.70	1.19	4.99
Distr. Sec. a los Filtros Biológicos	F1	3.30x7.80	0.27	150	1.67	7.12	1.17	4.98
Filtros Biológicos	F1-1	2.0x30.0	0.27	180	1.76	4.39	1.0	2.49
Distr. Princ. a los Sedimentadores	D-S	4.80x8.66	0.27	150	1.62	6.53	1.24	4.99
Distr. Sec. a los Sedimentadores	S1	3.45x9.0	0.27	150	1.79	6.95	1.28	4.97
Sedimentadores	S1-1	2.0x30.0	0.27	150	0.57	1.71	0.57	1.71
Sistema de Desinfección UV	UV	3.10x4.60	0.27	150	0.57	1.71	0.57	1.71
Tanque de Natas	TN	7.6x12.0	0.27	150	2.98	9.18	1.62	4.99
Estación de Bombeo de Lodos	EB-L	6.0x11.60	0.27	150	1.18	2.26	1.18	2.26
Estación de Bombeo	EB-O	4.4x6.6	0.27	150	1.18	2.26	1.18	2.26

En el anexo de capacidad portante, se presenta los cálculos presentados en los cuadros anteriores.



CUADRO N° 15
CÁLCULO DE LA CAPACIDAD ADMISIBLE POR ASENTAMIENTO
EMISOR ALATA-TUNALES

Descripción	B x L (m)	μ	E (kg/cm ²)	q_{ad1} (kg/cm ²)	S_1 (cm)	q_{ad} (kg/cm ²)	S_i (cm)
Buzón Típico	4.2X4.2	0.27	300	4.05	4.89	2.05	2.47
Buzón de Caída Típico	4.0X4.0	0.27	300	5.46	6.28	2.15	2.47
Buzón de Conexión con Colector	5.0x5.0	0.27	300	4.20	6.63	1.57	2.48

En el anexo de capacidad portante, se presenta los cálculos presentados en los cuadros anteriores.

Donde:

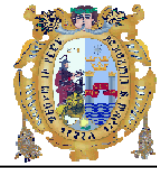
- D_f : Profundidad de cimentación
 μ : Módulo de Poisson
 E : Módulo de elasticidad
 q_{ad1} : capacidad admisible por resistencia
 S_1 : Asentamiento calculado usando la capacidad admisible por resistencia.
 q_{ad} : capacidad admisible controlado por asentamiento permisible
 S_i : Asentamiento probable

11.4 PELIGRO SÍSMICO

La evaluación del peligro sísmico se ha efectuado por medio de los métodos probabilístico y determinístico, de donde se definen los niveles sísmicos del movimiento máximo del suelo en el área del proyecto. Además, se proponen valores del coeficiente sísmico para el diseño seudoestático de las estructuras.

11.4.1 Historia Sísmica del área de Influencia

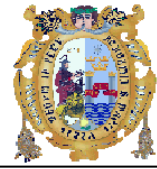
La fuente básica para conocer la actividad sísmica y lo concerniente a ésta, ocurrida en el área de influencia del citado proyecto, es el trabajo de Silgado (1968, 1973, 1978 y 1992), que describe los principales eventos sísmicos ocurridos en el Perú. Un Mapa de



Distribución de Intensidades Sísmicas Observadas en el Perú, ha sido presentado por Alva Hurtado (1984), ilustrándose en la figura RS9+-004 (ver el Anexo C: Figuras y Gráficos). Su elaboración está basada en treinta isosistas de sismos peruanos y datos de intensidades puntuales de sismos históricos y recientes.

Los sismos más importantes que afectaron la región y cuya historia se conoce son los siguientes:

- Sismo del 11 de octubre de 1939 a las 9.51 h. Intensidades: Chuquibamba VII MMI; Arequipa y Moquegua VI MMI.
- Sismo del 20 de febrero de 1952 a las 4.10 h. Intensidad V MMI en Lomas, Arequipa.
- Sismo del 15 de enero de 1958 a las 14.14 h. Terremoto en Arequipa que causó 28 muertos y 133 heridos. Intensidades: Arequipa VIII MMI; Moquegua VI MMI; Ica, Tacna y Puno III MMI.
- Sismo del 19 de julio de 1959 a las 10.07 h. Intenso y prolongado movimiento sísmico en Arequipa, Moquegua, Cusco y Tacna. Intensidades: Moquegua y Arequipa VII MMI; Ayacucho IV MMI.
- Sismo del 13 de enero de 1960 a las 10.40 h. Terremoto en Arequipa. Intensidades: Chuquibamba, Caravelí, Cotahuasi y Arequipa VIII MMI; Moquegua VII MMI; Ica V MMI; Puno y Cusco IV MMI.
- Sismo del 26 de enero de 1964 a las 4.00 h. Temblor en el Sur. En Arequipa hubo cuatro heridos y deterioros en varias casas ya resentidas por sismos anteriores. Intensidades: Arequipa VI MMI; Mollendo y Ubinas V MMI.
- Sismo del 16 de febrero de 1979. Fuerte temblor en Arequipa. Intensidad de VII MMI en Camaná y Corire; VI MMI en Huancarqui, Arequipa, Chuquibamba, Caravelí y Ocoña; en Chivay y Chala y La Joya V MMI.
- Sismo del 3 de abril de 1999 ($M_w = 6,6$), ocurrido en Arequipa cerca de las 13.17 h. (hora local), magnitud 6.0 mb afectó gran parte de la región Sur de Perú, llamado “Terremoto de Arequipa”, la localización final del epicentro fue en las siguientes coordenadas: $16.61^\circ \text{ S } 72.82^\circ \text{ W}$ es decir a 18 km al NW de la ciudad de Camaná departamento de Arequipa.

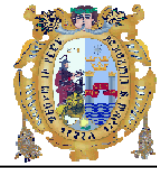


- Sismo de Arequipa del 23 de junio de 2001, la intensidad máxima observada quedó restringida en VII-VIII en la escala de Mercalli modificada.
- Sismo de Moquegua del 1 de octubre de 2005. Las localidades de Carumas, San Cristóbal, Calacoa, Cuchumbaya y otras, (Provincia Mariscal Nieto, Departamento de Moquegua).

11.4.2 Rasgos Sismotectónicos

La tectónica del Perú es compleja. La mejor manera de explicarla es desde el punto de vista de la tectónica de placas. El principal factor responsable de la alta sismicidad de la costa del Perú es la interacción de la placa oceánica de Nazca con la placa continental Sudamericana. Uno de los mejores métodos de investigación de la tectónica de las márgenes de placas activas, tal como las encontradas en la parte occidental de Sudamérica, son los estudios de distribución espacial de sismicidad. Se ha observado que los siguientes rasgos son generalmente característicos de las zonas de subducción en las márgenes continentales:

- La zona de subducción está marcada por un arco magmático de volcanes activos o volcanes de actividad reciente.
- Una depresión batimétrica o una fosa más afuera que es paralela al arco volcánico.
- Una zona de sismicidad denominada zona de BENIOFF - WADATI, que se sumerge bajo el arco volcánico a partir de la fosa. Los sismos que forman la zona de BENIOFF - WADATI, la cual puede extenderse hasta profundidades de 600 km, están localizados dentro de la placa de subducción oceánica y definen por lo tanto, la geometría de la placa. Los terremotos someros que ocurren en la fosa se caracterizan por sus mecanismos focales de cabalgadura somera, y los terremotos de profundidad intermedia dentro de la placa de subducción tienen mecanismos que indican que la tensión está orientada en la dirección de la subducción (Isacks y Molnar, 1971).
- Se observa que los volcanes activos están situados entre los 120 y 150 km sobre la zona de BENIOFF - WADATI.



- Los rasgos geomorfológicos sub-aéreos de una margen continental activa, comenzando desde el litoral, son los siguientes:
 - . Un prisma acrecionario
 - . Una cuenca de arcofosa
 - . El arco magmático
 - . Un cinturón plegado tras-arco y
 - . Una cuenca terrestre continental en el interior continental (Dickinson, 1976)

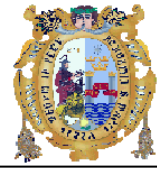
Todos los rasgos anteriormente descritos han sido observados a lo largo de, al menos, ciertas partes de la zona de subducción de la parte occidental de Sudamérica. Esta zona de subducción ha sido estudiada intensamente en la segunda mitad de los años setenta (p.e. Ocola, 1980, Barazangi e Isacks, 1979).

En la actualidad los principales segmentos estructurales notablemente marcados en la Cordillera Andina se caracterizan por presentar diferentes estilos tectónicos, deslizamientos y actividad volcánica, los mismos que coinciden con los patrones regionales de sismicidad. Los Andes, al Norte de 15° S, presentan una actividad sísmica asociada a un proceso de subducción del tipo subhorizontal y normal. Sin embargo, la estructura de la corteza y del manto superior aún es muy poco conocida, lo mismo que el origen y el estado de los esfuerzos principales en la corteza.

11.4.3 Sismotectónica Regional

En Figura RS-004 se presenta el mapa sismotectónico de la región. Además de los hipocentros del catálogo sísmico del SISRA, se presentan los rasgos neotectónicos indicados por Sebrier (1982). Este plano constituye una representación cualitativa completa de la actividad sísmica en el área de estudio, con representación de la magnitud y la profundidad focal de los sismos, así como las características neotectónicas.

Según el estudio de la neotectónica del Perú (Sebrier et al, 1982), en el área vecina al proyecto se pueden distinguir las siguientes fallas como principal influencia:



Falla Chico Machaco

Se ubica al sur del departamento de Arequipa, entre la parte noroeste del Cerro Alto de Meadero y la margen sureste de una planicie de erosión del Mioceno-Plioceno (Noller, 1993). La falla de Chico Machaco tiene una expresión geomorfológica muy marcada sobre sus 16 km de longitud con un rumbo promedio NE-SO y un buzamiento de 60° al NO.

El movimiento más reciente en la falla ocurrió en la parte central a lo largo 6 km con un movimiento normal, donde la escarpa de 2-3 m de alto se desarrolla en depósitos coluviales. Sin embargo la apariencia fresca de la escarpa en la planicie y en los depósitos coluviales sugiere que la falla es relativamente joven, posiblemente de edad Pleistoceno tardío (Fenton et al., 1995).

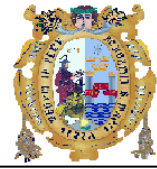
Falla Lluclla

Se localizada en el valle del Río Sihuas, a 60 km al ONO de la ciudad de Arequipa, limita rocas del Precambrio de la Cordillera Occidental y depósitos continentales del Oligo-Mioceno en el Piedemonte del Pacífico.

La degradación del escarpe de falla indica que el último movimiento fue antes del Holoceno y podría estar relacionado a la tectónica extensional del Plioceno-Pleistoceno (Sèbrier et al., 1985). Las 16 medidas de estrias normales realizadas del último período de reactivación dan como resultado un régimen tectónico extensivo de dirección N-S (Sèbrier et al., 1985, Sébrier et al., 1982 y Deza et al., 1982).

Falla Pampa Huanacollo

La Falla Pampa Huanacollo, se ubica al noroeste del departamento de Moquegua entre los cerros Machaco Chico y Tres Cruces. La falla afecta depósitos cuaternarios a lo largo de toda la longitud de su traza (Noller, 1993). El pobre desarrollo de su escarpa sugiere que esta, no tuvo una larga historia de movimientos durante el Neógeno (Fenton et al., 1995).



Presenta un escarpe de 0.5 a 1.5 m de alto, esta se degrada a lo largo de toda su traza debido a la erosión.

El movimiento más reciente fue de tipo normal y parece haber sido en la porción central de la falla, donde se aprecia una longitud corta del escarpe de la falla intacta. Incluso en esta parte la escarpa afecta depósitos aluviales del Pleistoceno y esta siendo enterrada por depósitos eólicos.

Falla Cerro Cordilleras

Presenta una expresión superficial marcada como contacto de roca de fondo y depósitos aluviales, está se extiende a lo largo de 20 km de longitud (Noller, 1993). La falla compensa la última superficie terciaria de erosión de Cerro Cordillera. Se divide en tres segmentos.

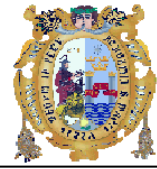
El primer segmento se observa que el escarpe de falla es enterrada en gran parte por depósitos aluviales y por depósitos eólicos. Esto nos indica que este segmento no tuvo reactivación reciente (Fenton et al., 1995).

El segmento central, afecta los depósitos aluviales cuaternarios, sin embargo no se observó ninguna escarpa a través de los abanicos aluviales activos. Las escarpas de las fallas se preservan hacia la parte norte y son de una altura de 2.5 m (Fenton et al., 1995). El último movimiento a lo largo de esta sección es probablemente pleistoceno reciente basado en la preservación de la escarpa. Sin embargo, movimientos en el Holoceno se excluye en base de una carencia de escarpas en el abanico aluvial.

En el tercer segmento se observa que el escarpe de falla es enterrado en gran parte por depósitos aluviales y por depósitos eólicos. Esto nos indica que este segmento no tuvo reactivación reciente (Fenton et al., 1995).

Falla Pampa Trapiche

Es esencialmente la extensión del sector noroeste del sistema de las fallas Toquepala y del sistema de fallas de Incapuquio, se ubica al Este del departamento de Moquegua (Noller, 1993). La falla se expresa como una serie de escarpes discontinuos en roca y en depósitos aluviales.



Sus escarpes tienen un salto vertical de hasta 4 m de alto, con una dirección E-O y un buzamiento hacia el Sur, estos muestran evidencias de erosión pero se observa una continuidad lateral. Los escarpes no están presentes en los depósitos aluviales recientes del valle de Moquegua. No hay evidencia del último movimiento cuaternario en la sección occidental de la falla.

Probablemente el último movimiento ocurrió en el Plioceno superior o posiblemente durante el Pleistoceno temprano.

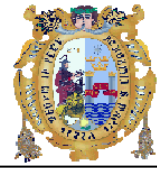
Todos los sismos en la porción oceánica corresponden a la zona de subducción, mientras que en la porción continental se incluyen los sismos de la zona de Benioff, con profundidades focales mayores de 70 km, y los sismos continentales que son superficiales.

Al considerar las fuentes de sismos que puedan ser significativas para las aceleraciones en el área del proyecto, es importante tener en cuenta las diferencias fundamentales en las características de atenuación asociadas con los sismos de subducción y los sismos superficiales. En general, los sismos superficiales se atenúan con mayor rapidez que los sismos de subducción.

Consecuentemente, si bien es importante considerar las fuentes de sismos de subducción, también es necesario tomar en consideración las fuentes más cercanas de sismos continentales superficiales al área del proyecto.

11.4.4 Determinación del Peligro Sísmico

Se ha determinado el peligro sísmico del área del Proyecto utilizando la metodología e información pertinente disponibles en la literatura. Para esto, se ha empleado el programa de cómputo RISK desarrollado por R. Mc Guire (1976) con datos de la ley de atenuación de Casaverde y Vargas (1980) para los sismos de subducción y de Mc Guire (1974) para los sismos continentales. Se han usado las fuentes sismogénicas y parámetros de recurrencia definidos por Castillo (1993).

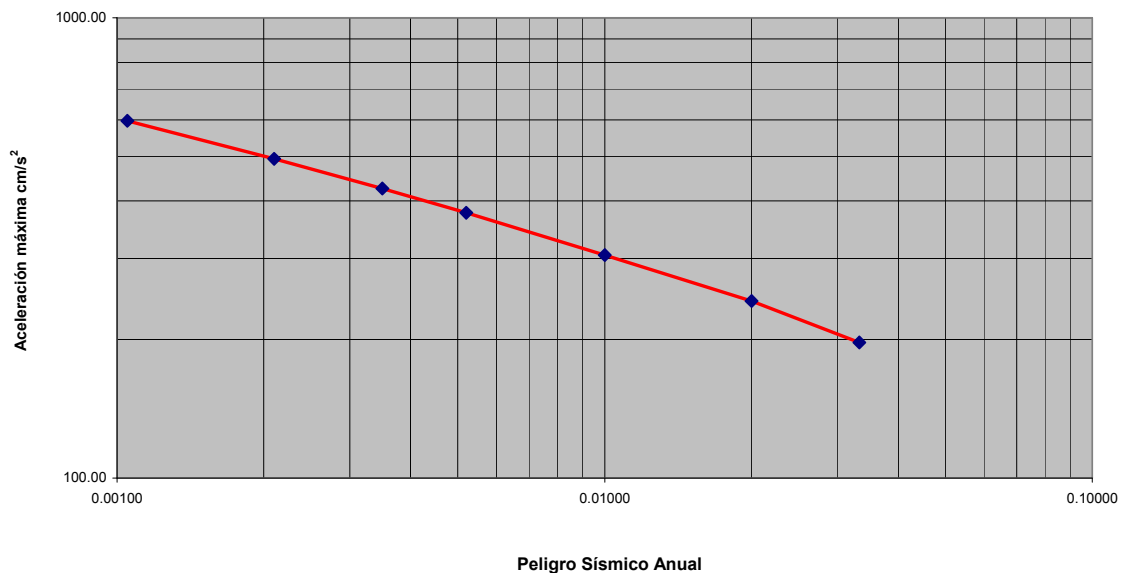


El peligro sísmico se ha determinado por medio de la probabilidad de ocurrencia de un sismo cuya aceleración máxima sea igual o mayor que ciertos valores esperados. También se podrían determinar probabilísticamente las velocidades, los desplazamientos o las intensidades esperadas utilizando los parámetros de Casaverde y Vargas (1980), que presentan atenuaciones en función de dichos parámetros.

En el Gráfico N° 7.1 se presentan los resultados de las aceleraciones para cada zona correspondiente. El peligro sísmico anual se presenta en el eje de abscisas de dichas figuras como la inversa del período de retorno.

GRÁFICO N° 7.1: PELIGRO SÍSMICO ANUAL

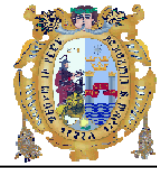
PELIGRO SISMICO "PLANTA TUNALES" (-71.62° ; -16.44°)
ACELERACION MAXIMA EN LA ROCA BASE



La siguiente tabla muestra las máximas aceleraciones esperadas para períodos de retorno de 30, 50, 100, 190, 285, 475 y 950 años.

CUADRO N° 16: MÁXIMAS ACELERACIONES

Coordenadas	Período de Retorno (Tr) / Aceleración (g)						
	30	50	100	190	285	475	950
Planta Tunales y Escalerilla (-71.62; -16.44)	0.201	0.247	0.311	0.384	0.434	0.503	0.609



Para efectos del diseño, consideramos una vida útil de 50 años con la probabilidad de ser excedida en un 10% por lo que utilizando las relaciones propuestas se determina un período de retorno de 475 años, obtenido según la siguiente relación:

$$Tr = Vu \left(\frac{1}{P} - 0.5 \right)$$

Donde:

Tr = Periodo de Retorno

Vu = Vida útil de la Estructura

P = Probabilidad de excedencia

Además, es usual considerar una aceleración efectiva del orden de un tercio (1/3) más baja que la instrumental pico. El coeficiente sísmico para el diseño estará expresado en términos del período de la estructura y del período predominante del suelo.

El factor de reducción para el valor de la aceleración de diseño a 2/3 de la aceleración pico es estimado a partir de la observación del registro de los acelerogramas donde se puede notar que la mayoría de los valores registradas son menores a 2/3 de la aceleración pico máxima. Y en consecuencia de lo anterior, generalmente la estructura ha diseñar estará sometido mayor tiempo al efecto de la aceleración media determinada.

Debido a que las aceleraciones sísmicas máximas se manifiestan sólo durante un periodo muy corto, la aceleración de diseño se define como una fracción de la aceleración máxima, el Cuerpo de Ingenieros del Ejército de los Estados Unidos (U.S. Army Corps of Engineers), recomienda el uso de un coeficiente sísmico igual al 50% (1/2) de la aceleración pico de diseño, la misma que esta basada en numerosos estudios del comportamiento de terraplenes durante eventos sísmicos. También, en la Guía ambiental publicada por el Ministerio de Energía y Minas del Perú, se sugiere el uso de una fracción comprendida entre 1/2 a 2/3 de la aceleración pico de diseño.

Por otro lado es Hynes -Griffin, M.E. and Franklin, A.G. (1984). "Rationalizing the seismic coefficient method." Miscellaneous Paper GL-84-13, U.S. Army Corps of Engineers Waterways Experiment Station, Vicksburg, Mississippi, 21p. Propone un factor de reducción de 0.5 de la máxima aceleración sísmica.



La repuesta estructural de las obras de ingeniería derivada por métodos espectrales deberá considerar a partir de los valores de aceleración propuestos la amplificación estructural y las reducciones por ductilidad, amortiguamiento y los coeficientes de seguridad que se emplearán en el diseño. Los valores presentados corresponden a suelo firme y no reflejan la ampliación del suelo.

No existe un sustento técnico para asumir un rango, esto está en función a las características del proyecto e importancia de la misma. El diseñador puede elegir la aceleración dentro de los rangos presentados y la importancia de la estructura proyectada.

De los análisis de peligro sísmico probabilístico, se definen los valores de diseño que se presentan en el Cuadro N° 17.

CUADRO N° 17: ACELERACIONES DE DISEÑO

Lugar	Aceleración de Diseño	Aceleración Efectiva de Diseño
Planta Tunales y Escalerilla (-71.62; -16.44)	0.503	0.336

Para el caso de diseño de taludes y obras de retención empleando el método pseudo estático, se recomienda utilizar un coeficiente de aceleración sísmica de 0.25g (ver cuadro N°18)

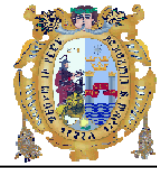
CUADRO N° 18: ACELERACIÓN SEUDOESTÁTICA

Lugar	Aceleración Seudoestática
Planta Tunales y Escalerilla (-71,62; -16,44)	0.25

11.5 HIDROLOGÍA

11.5.1 Objetivo

El estudio hidrológico, dentro de los alcances de este Proyecto, tiene por objeto determinar las avenidas del río Chili en la sección de cauce del acueducto proyectado sobre el río Chili (emisor de la Planta Tunales), y frente a la planta en el Sitio B, a partir de la información disponible de precipitación y descargas máximas, estableciendo los



parámetros necesarios para el diseño de las obras de cruce y estructuras en las márgenes del río tanto para el emisor, como para una de las plantas proyectadas para el tratamiento de las aguas residuales de la ciudad de Arequipa.

La segunda PTAR ubicada en la pampa Escalerilla, que conjuntamente con la PTAR Tunales, conforma la alternativa de solución para el problema de las aguas residuales de Arequipa, no ha sido motivo de análisis por encontrarse en una zona no vulnerable a inundaciones.

11.5.2 Área y Alcances del Proyecto

El área del estudio del PTAR es Arequipa Metropolitana. Para fines hidrológicos, comprende las cuencas de las fuentes superficiales y subterráneas para el abastecimiento de agua potable como son el río Chili y el manantial La Bedoya.

Las aguas residuales que llegarán para ser tratadas a la planta del Sitio B se conducirán mediante un emisor de 5.22 km, que en su tramo inicial considera una obra de cruce - acueducto - sobre el río Chili, siendo necesario para la ingeniería básica la determinación de las avenidas y los niveles máximos de inundación para diferentes periodos de retorno y los niveles máximos de inundación, en ambos tramos del río.

La planta Pampa Escalerilla, se encuentra en la zona noreste de la ciudad, en el distrito de Cerro Colorado, a distancia considerable del río Chili. En consecuencia, el estudio hidrológico no tiene implicancia para las obras de la misma.

11.5.3 Cuenca del Río Chili

Las cuencas del río Chili y del alto Colca forman parte de la vertiente occidental peruana, que desembocan en el Océano Pacífico.

Las obras que conforman el sistema de embalses y la infraestructura hidráulica mayor del Chili Regulado en la cuenca de este río son Pañe con una capacidad de 93 Mm³, El Fraile (4,000 msnm) con 200 Mm³ y Aguada Blanca (3660 msnm) con 45 Mm³ y que configura la regulación final del sistema. El caudal medio en Pillones es de 0.2 m³/s, proveniente de su propia cuenca de 51.9 km².



A partir de Aguada Blanca se inician todos los aprovechamientos hídricos. El Sistema hidroeléctrico Charcani se desarrolla íntegramente sobre el río Chili, entre los 3,660 msnm los 2,650 msnm, lugar donde se encuentra la primera toma agrícola de la campiña de Arequipa y que sirve también para el abastecimiento de agua potable a la ciudad. Hacia aguas abajo se tiene, dentro del ámbito urbano de la ciudad y en ambas márgenes del río Chili una serie de captaciones hacia las zonas agrícolas.

Las áreas de drenaje de la cuenca del Río Chili son como se muestra a continuación:

Hasta la Presa Aguada Blanca:	3,894.9 km ² .
Hasta la zona de la Planta Tunales (Sitio B):	4,547.7 km ² .
Hasta la confluencia con el río Tingo Grande:	5,376.3 km ² .
Hasta la confluencia con el río Yura:	7,622.6 km ² .

11.5.4 Precipitación Máximas

La precipitación es máxima en los flancos de la cordillera y decrece con la altitud. La mayor parte de la precipitación ocurre sobre los 2,000 msnm. La estación húmeda del periodo Diciembre a Abril concentra alrededor del 80 % del total anual, y la estación seca de Mayo a Noviembre, sólo el 20 %.

La precipitación en el área de estudio presenta valores anuales totales entre 500 y 600 mm. Las precipitaciones consideradas para el estudio corresponden a las máximas en 24 horas de estaciones representativas de la cuenca alta media y alta del río Chili.

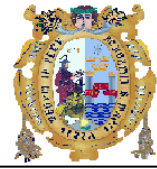
11.5.5 Zonas de Vida

Las zonas de vida identificada tanto en la cuenca del río Chili como en la vecina cuenca alta del Colca son las siguientes:

Tabla N° 8
Zonas de Vida Identificadas en a cuenca del Río Chili

Unidad Estratigráfica	Símbolo
Matorral desértico Montano subtropical	md - MS
Matorral desértico Sub alpino Subtropical	md - SaS
Páramo muy húmedo Sub alpino Subtropical	pmh - SaS
Páramo húmedo Sub alpino Subtropical	Ph - SaS
Tundra muy húmedo Alpino Subtropical	tmh - AS
Nival Subtropical	NS

Fuente: Mapa Ecológico del Perú



Al presentarse zonas de vida similares entre ambas cuencas y considerando la escasa información, cabe la posibilidad de la utilización de la información existente en cuencas vecinas que contengan similares características.

11.5.6 *Análisis de Frecuencia de Avenidas*

Los valores de las avenidas en el río Chili, determinados para establecer los niveles de inundación a ser considerados en el diseño de las obras se han calculado aplicando los métodos siguientes:

- Método SCS
- Método de descargas

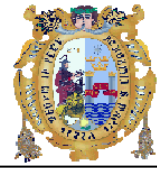
Los resultados del análisis, cuyo detalle aparece en el entregable *Estudio Básico de Hidrología*, son los siguientes:

CUADRO N° 19
MÁXIMAS AVENIDAS

Período de Retorno Años	Caudal m³/s
5	174.8
10	241.5
20	344.3
50	461.1
100	555.3
200	657.8
500	795.0
1,000	901.4

11.5.7 *Quebrada en el Sitio B*

La planta proyectada en este lugar alberga en su parte central la desembocadura de una quebrada de aproximadamente 0.50 km² de área de cuenca, para la cual, considerando un módulo de 3.11 m³/s/km² (módulo calculado a partir del estudio de torrenteras para la ciudad de Arequipa) y con la finalidad de homogenizar las máximas avenidas de esta quebrada con las máximas avenidas de la cuenca, se ha realizado una semejanza directa con la cuenca analizada, obteniéndose un caudal de 2.32 m³/s para un periodo de retorno de 1,000 años.



11.5.8 Caudal de Diseño

Tomando en consideración las avenidas para el diseño de estructuras existentes en el cauce del río Chili aguas arriba de la zona del proyecto y la muy relevante inversión de las obras proyectadas; los resultados hidrológicos denotan la aplicación de una caudal de diseño que proporcione la seguridad necesaria para el emplazamiento de diferentes estructuras hidráulicas especialmente las obras relacionadas a la Planta Tunales (Sitio B) para lo cual se debe considerar en sus diseños el caudal correspondiente a una avenida milenaria.

11.5.9 Aplicación HEC - RAS

Se ha realizado el análisis de los tirantes máximos en el río a fin de establecer el efecto de una avenida milenaria en la zona de influencia de la Planta Tunales (Sitio B), utilizando para el efecto programa HEC - RAS del U S Army Corps of Engineers.

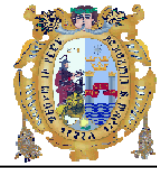
Los tirantes máximos son reflejados en las secciones topográficas de la zona de estudio, que en nuestro caso son la Planta Tunales (Sitio B) y el Emisor (Acueducto). En términos generales, se puede decir que los niveles máximos de las aguas de la avenida milenaria no superarán los niveles mínimos de la Planta Tunales (Sitio B), descartándose algún tipo de riesgo por inundación. (Ver resultados en Anexo)

11.5.10 Socavación

11.5.10.1 Generalidades

Durante las grandes avenidas por lo general, sus efectos nocivos a los taludes están en directa relación con la cantidad de sedimentos transportados y su capacidad de socavación.

En este capítulo se hará notar cual es la magnitud de los efectos dañinos de los sedimentos y establecer los grados de seguridad de las obras propuestas.



11.5.10.2 Cálculo del Ancho Efectivo del Cauce

Método de Altunin

$$B = A \times \frac{Q^{1/2}}{S^{1/5}}, \text{ donde } A = 1.3 \text{ (Río Caudaloso)}$$

Método de Lacey:

$$B = 4.831(Q)^{1/2}$$

Método de Petit

$$B = 2.45(Q)^{1/2}$$

Se tiene que el caudal máximo milenario es de 901.4 m³/s, para lo cual aplicando las formulas, que en realidad nos proporcionan un rango para la definición del Ancho efectivo, se tiene 90, 145 y 73.6 m respectivamente.

Para efectos de cálculo, se tomará el resultado proporcionado por ALTUNIN, es decir, 90 m como ancho efectivo (se consideró la pendiente del cauce principal 1.56 %)

11.5.10.3 Cálculo de la Socavación

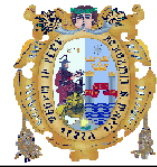
a. Método de Lisctvan-Levediev

Para el cálculo de la socavación se empleo la siguiente expresión: que corresponde a suelos cohesivos:

$$d_s = \left(\frac{\alpha * d^{5/3}}{0.68 * D_m^{0.28} * \beta} \right)^{\frac{1}{1+x}}$$

$$\alpha = \left(\frac{Q}{d_m^{5/3} * \mu * B} \right)^{\frac{1}{1+x}}$$

$$d_m = \left(\frac{A}{B} \right)$$



Donde:

Q = Caudal de avenida del río (m^3/s)

B = Ancho efectivo del cauce (m)

d = Tirante antes de la socavación (m)

d_s = Tirante después de la socavación (m)

d_m = Tirante medio del cauce (m)

A = Área hidráulica (m^2)

μ = Coeficiente de contracción (Tabla N°9)

D_m = Diámetro medio del material (mm)

β = Coeficiente función del periodo de retorno (Tabla N°10)

$1/(1+x)$ = valor en función del D_m (Tabla N° 11)

Tabla N° 9

μ = COEFICIENTE DE CONTRACCIÓN

VELOCIDAD m/seg.	LONGITUD DE LAS LUCES LIBRES EN m.					
	< 10	15	20	30	50	> 100
< 1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0
1.0	0.96	0.98	0.99	0.99	1.0	1.0
1.5	0.94	0.97	0.97	0.99	0.99	1.0
2.0	0.93	0.95	0.97	0.98	0.99	0.99
2.5	0.90	0.94	0.96	0.97	0.98	0.99
3.0	0.89	0.93	0.95	0.96	0.98	0.99
3.5	0.87	0.92	0.94	0.96	0.98	0.99
4.0	0.85	0.91	0.93	0.95	0.97	0.99
> 4.0	0.85	0.91	0.93	0.95	0.97	0.99

Tabla N° 10

COEFICIENTE EN FUNCIÓN DEL PERIODO DE RETORNO

Periodo de Retorno (T_r)	β
1	0.77
2	0.82
5	0.86
10	0.90
20	0.94
50	0.97
100	1.00
500	1.05
1,000	1.07

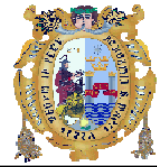


Tabla N° 11

1 / (1+x) (VALOR EN FUNCIÓN DEL DM)

Suelos cohesivos						Suelos no cohesivos					
γ_d (ton/m ³)	x	$\frac{1}{1+x}$	γ_d (ton/m ³)	x	$\frac{1}{1+x}$	d (mm)	x	$\frac{1}{1+x}$	d (mm)	x	$\frac{1}{1+x}$
0,80	0,52	0,66	1,20	0,39	0,72	0,05	0,43	0,70	40	0,30	0,77
0,83	0,51	0,66	1,24	0,38	0,72	0,15	0,42	0,70	60	0,29	0,78
0,86	0,50	0,67	1,28	0,37	0,73	0,50	0,41	0,71	90	0,28	0,78
0,88	0,49	0,67	1,34	0,36	0,74	1,00	0,40	0,71	140	0,27	0,79
0,90	0,48	0,67	1,40	0,35	0,74	1,5	0,39	0,72	190	0,26	0,79
0,93	0,47	0,68	1,46	0,34	0,75	2,5	0,38	0,72	250	0,25	0,80
0,96	0,46	0,68	1,52	0,33	0,75	4,0	0,37	0,73	310	0,24	0,81
0,98	0,45	0,69	1,58	0,32	0,76	6,0	0,36	0,74	370	0,23	0,81
1,00	0,44	0,69	1,64	0,31	0,76	8,0	0,35	0,74	450	0,22	0,83
1,04	0,43	0,70	1,71	0,30	0,77	10,0	0,34	0,75	570	0,21	0,83
1,08	0,42	0,70	1,80	0,29	0,78	15,0	0,33	0,75	750	0,20	0,83
1,12	0,41	0,71	1,89	0,28	0,78	20,0	0,32	0,76	1000	0,10	0,84
1,16	0,40	0,71	2,00	0,27	0,79	25,0	0,31	0,76	-	-	-

b. Socavación general cauce río Chili - PTAR “Sitio B”

La PTAR correspondiente a la zona denominada “Sitio B”, se encuentra en la margen derecha del río Chili, para lo cual se procederá a realizar los cálculos para determinar cual será su nivel de socavación después del paso de una avenida milenaria. En términos generales, se determinará cual será el tirante (o profundidad de cauce) después de producida la socavación.

Los datos son:

Longitud = 363 m
 Tr = 1000 años => de Tabla 2 $\beta = 1.07$
 Q = 901 m³/s
 d = 3.08 m
 A = 305.06 m²
 B = 90.00 m
 Vm = 2.95 m/s => de Tabla 1 $\mu = 0.90$
 Dm = 100 mm => de Tabla 3 $1/(1+x) = 0.78$

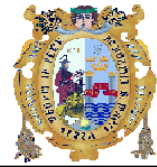
De (3) : $\alpha = 1.45$ De (2) : $\alpha = 1.45$ De (1) : $\alpha = 1.45$
 $dm = 3.39$ m $ds = 2.72$ m

=> SOCAVACION GENERAL = $ds = 2.72$ m $Hs = ds - d = -0.36$ m

=> SOCAVACION LOCAL =

$$h's = 1.5 ds - d$$

$$h's = 1.00$$
 m



Los resultados obtenidos muestran una socavación general del cauce del río, específicamente se muestra que la diferencia de tirantes después y antes de la socavación es de -0.36 m, lo que a términos generales indica que se produce una colmatación de material arrastrado por el gran caudal, debido principalmente al gran ancho del cauce.

Los resultados fueron obtenidos a partir de datos rescatados de una de las secciones más críticas, es decir, la sección más propensa a ser erosionada. La máxima capacidad de erosión se presenta en el lecho del río, disminuyendo a en los taludes por ser en estas zonas las velocidades del flujo mucho menores.

La socavación local está referida a la generada por la presencia de estructuras ubicadas en la dirección del flujo de agua. Para este caso se ha encontrado una socavación local de 1.00 m, siendo esta la profundidad mínima de cimentación que debe adoptarse para las estructuras de protección del talud en relleno proyectado para la planta.

c. Socavación general y local en acueducto

Se ha calculado la socavación en la sección donde se ha proyectado el acueducto, cuyos resultados se muestran:

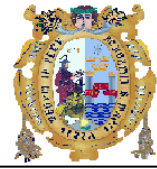
Los datos son:

Longitud =	286 m		
Tr =	1000 años	=>	de Tabla 2 $\beta = 1.07$
Q =	901 m ³ /s		
d =	2.78 m		
A =	267.17 m ²		
B =	90.00 m		
V _m =	3.24 m/s	=>	de Tabla 1 $\mu = 0.89$
D _m =	100 mm	=>	de Tabla 3 $1/(1+x) = 0.78000$

De (3) :	De (2) :	De (1) :
dm = 2.97 m	$\alpha = 1.84$	ds = 2.85 m

=> SOCAVACION GENERAL = $ds = 2.85 \text{ m}$ $Hs = ds - d = 0.07 \text{ m}$

=> SOCAVACION LOCAL EN ESTRIBOS = $h's = 1.5 ds - d$
 $h's = 1.50 \text{ m}$



Los resultados muestran que la erosión en términos generales no es significativa. Por otra parte la socavación local en estribos y pilares es de 1.50 m, definiéndose la profundidad de cimentación de pilares y estribos del orden de los 2.00 m como mínimo.

XII. DISEÑO DEL SISTEMA DE CONDUCCIÓN DE AGUAS RESIDUALES

12.1 LÍNEA DE EMISOR TUNALES

a. Tuberías

Materiales

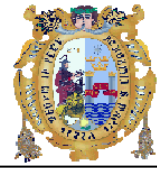
- Tubería de GRP (Glass Reinforced Plastic -ASTM D3262)

Para la selección de la tubería, se analizaron las ventajas de los diferentes materiales de tubería en el mercado, las cuales se resumen en el siguiente cuadro:

CUADRO N° 20
VENTAJAS Y DESVENTAJAS DE LOS
DIFERENTES MATERIALES PARA CONDUCTOS

Ítem	Descripción	Material de Tubería					
		PVC	HDP	GRP	Acero	Hierro Dúctil	Concreto
1	No se corroe	√	√	√	X	√	X
2	Baja rugosidad, n de Manning < 0.012	√	√	√	X	X	X
3	Soporta velocidades > 5 m/s	√	√	√	√	√	√
4	Puede soportar presiones externas altas de hasta 18.0m sobre su clave.	√	√	√	√	√	X
5	Se fabrican en grandes diámetros de hasta 3.70 m.	X	X	√	√	√	√
6	Orden de costos (de menor a mayor)	1	4	2	5	6	3

De acuerdo a esto, se selecciona el uso de tubería de GRP, debido a que presenta las siguientes ventajas:



- No se corroe.
- Presenta baja rugosidad, coeficiente de rugosidad de Manning es de 0.010, usándose conservadoramente 0.011.
- Puede trabajar con velocidades de hasta 5 m/s.
- Puede soportar presiones externas altas de hasta 18.0 m sobre su clave.
- Se fabrican en grandes diámetros de hasta 3.70 m.
- Son menos costosas que las tuberías de HFD y acero.
- Adicionalmente puede soportar presiones internas de 20m, otorgando mayor seguridad, en el caso eventual de atoros en el conducto.

Criterios de diseño

- **Caudal de diseño**

Los colectores se diseñan para el caudal máximo horario futuro Q_{mh} (fin del periodo de diseño 2036), asegurando la capacidad del colector en horas pico durante todo el tiempo de servicio proyectado.

Así también es necesario evaluar el comportamiento hidráulico del colector para el caudal promedio y el caudal mínimo.

- **Tensión Tractiva**

La tensión tractiva media en cada tramo debe ser como mínimo 1.0 Pa, lo que asegurara la auto limpieza de las tuberías.

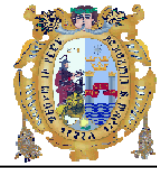
- **Pendiente y velocidad mínima**

La pendiente y la velocidad mínima deben ser tales que permitan que la tensión tractiva sea como mínimo 1.0 Pa. La pendiente mínima puede ser determinada por la siguiente expresión:

$$S_{o\min} = 0.0055Q^{-0.47}$$

$S_{o\min}$: pendiente mínima (m/m)

Q: caudal (l/s)



- **Pendiente y velocidad máxima**

La pendiente máxima es la que corresponde a una velocidad igual a 5 m/s, protegiendo así los colectores de una posible abrasión.

- **Relación tirante/diámetro (Y/D)**

La altura de la lámina de agua debe ser como máximo el 75 % del diámetro del colector. Esta relación tirante/diámetro garantizará que el flujo siempre ocurra a superficie libre.

Adicionalmente cuando la velocidad final es mayor que la velocidad crítica, la mayor altura de agua admisible será de 50 % del diámetro del colector. Lo cual sucederá en caso de pendientes grandes con alta turbulencia del flujo, ya que puede ocurrir ingreso de aire en la superficie del líquido; aumentando la lámina de líquido. Se ha demostrado que el inicio del escurrimiento aireado se produce cuando B supera el valor de 6.

$$B = V_c / (g \times R_h)^{0.5}$$

V_c : Velocidad crítica (m/s)

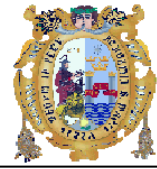
G : aceleración de la gravedad (m/s^2)

R_h : radio hidráulico (m)

- **Coefficiente de rugosidad**

Para tubería de PVC y GRP se recomienda usar un valor para el coeficiente de rugosidad de 0.011 que es conservador comparando con los valores de 0.009 citado por los productores de estas tuberías

Esos valores son de la tubería misma, sin tomar en cuenta posibles sedimentos y puntos singulares como conexiones, cámaras de inspección, etc., que aumentan la “rugosidad media”. Es por ello que normalmente se utiliza un valor de n mayor que el correspondiente al propio material de la tubería.



- **Recubrimiento mínimo y máximo**

De acuerdo a la norma el recubrimiento sobre las tuberías no debe ser menor a 1.0 m en vías vehiculares y 0.60 en las vías peatonales.

Las recomendaciones de los fabricantes de tubería van para casos de sin carga vehicular y con carga y dependiendo de los diámetros. Para las tuberías flexibles de PVC (Perfiladas) y de GRP se citan valores mínimos de 0.3 m para casos sin carga y como mínimo 1.0 m en caso cruce de vía carrozable. En la tabla a continuación se presenta un resumen de las recomendaciones de normas internacionales para el recubrimiento mínimo según la carga superficial por sobre la clave de tubería.

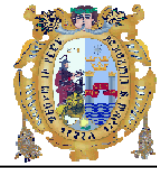
Tabla N° 12
Normas Internacionales para el recubrimiento mínimo de tuberías

Tipo de Carga	KN	Carga de Tránsito (Rueda)	Profundidad mínima de instalación a la clave (1)	País de Origen
		Lbs. Fuerza	Metros	
AASHTO H2O (C)	72	16,000	1.0	Americana
BS 153 HA (C)	90	20,000	1.5	Inglesa
ATV LKW 12 (C)	40	9,000	1.0	Alemana
ATV SLW 30 (C)	50	11,000	1.0	Alemana
ATV SLW 60 (C)	100	22,000	1.5	Alemana
Cooper E80	vía de tren		3.0	Americana

En nuestro caso las normas aplicables son del MTC cuyo camión de diseño es el HL-93 basado en la norma americana AASHTO H2O (C).

Para este proyecto se recomienda un relleno mínimo de 1 m.

No existe restricción en las normativas respecto al recubrimiento máximo, pero se considera que para las cámaras de inspección es necesario realizar una verificación estructural para tapadas mayor de 5.0 m y para colectores se consideran las recomendaciones de los fabricantes (generalmente se verifica la resistencia para profundidades mayores a 3.0 m).



- **Trazo del emisor**

Criterios aplicados para el trazo:

- Minimizar la longitud compatible con los accidentes topográficos a salvar.
- De preferencia trazo por caminos vehiculares o senderos.
- Minimizar longitud del acueducto en función del ancho estable del cauce del río para la avenida de diseño.
- Se determinará el nivel mínimo de la estructura del acueducto o paso aéreo.
- Evitar cruzar edificaciones e instalaciones existentes.
- Adecuar trazo a la topografía escalonada (terrazas) de las zonas de cultivos buscando que cruce ya sea empotrado en los taludes o al pie de los mismos (también enterrados).
- El trazo recorrerá empotrado por los taludes de mayor altura.
- Se procurará que el Fondo del Emisor siempre tenga un nivel suficientemente por debajo de los colectores que empalman con el mismo.
- Se analizarán los cruces con acequias de riego existente mediante obras de arte a base de tuberías.
- Se analizarán las interferencias con los servicios públicos existentes tales como electricidad, telefonía, saneamiento, etc.

b. Buzones - concreto

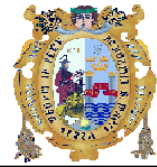
Materiales

Los buzones, emplean como material concreto y acero.

Criterios de diseño

- **Ubicación de los buzones**

Los buzones se deben ubicar según el Reglamento Nacional de Edificaciones en:



- En el inicio de todo colector
 - En todos los empalmes de colectores
 - En los cambios de dirección
 - En los cambios de pendiente
 - En los cambios de diámetro
 - En los cambios de material de tubería
 - Por razones de inspección y limpieza
- **Separación máxima entre buzones**

La separación máxima entre buzones dependerá del diámetro de las tuberías según la siguiente tabla:

Tabla N° 13
Separación Máxima entre Buzones

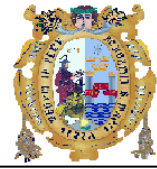
Diámetro Nominal de la Tubería (mm)	Distancia Máxima (m)
100	60
150	60
200	80
250 - 300	100
Diámetro > 300	150

- **Cambios de diámetros de tuberías**

En cambios de diámetro debido a variaciones de pendiente o aumento de caudal, se diseñarán las cámaras de inspección para que las tuberías coincidan en la clave cuando el cambio es de menor a mayor diámetro y en el fondo cuando el cambio sea de mayor a menor diámetro.

- **Caídas especiales**

En los buzones en los cuales las tuberías no lleguen al mismo nivel, se deberá proyectar un dispositivo con descarga o caída cuando la altura de descarga o caída con respecto al fondo del buzón sea mayor a 1 m.



- **Dimensión de buzones**

. **De acuerdo al diámetro de la tubería**

Todos los buzones serán del tipo cilíndrico (circular) fuera de los buzones instalados a los extremos del Acueducto que cruza el río Chili.

Para tuberías de diámetro máximo de 800 mm, se utiliza diámetro de buzones de 1.20 m, para tuberías de diámetros mayores a 800mm y menores a 1,200 mm se utilizará buzones de 1.50 m. Para tuberías de diámetros mayores a Ø1200mm los buzones cuentan con diseños especiales los cuales se detallan en los planos.

12.2 OBRAS DE ARTE

a. Entrada del Emisor a la planta de tratamiento

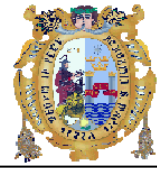
La llegada del emisor a la Planta se da a través de una tubería a presión (mediante un sifón de mínima pérdida de carga), condicionada por: régimen a la entrada de la planta en las estructuras propias del tratamiento preliminar y al nivel topográfico de la Planta.

El sifón se inicia en el buzón N° 42 (para Tunales) y N° 7 (para Escalerilla) los cuales cumplirán la función de una cámara de carga, dichos buzones tienen como cotas de tapa y fondo de 2,098.65 y 2,092.28 msnm (para Tunales) y 2,333.35 y 2,328.67 msnm (para Escalerilla) respectivamente.

Las velocidades en tubería del sifón deberá ser tal que genere la suficiente tensión tractiva capaz de evitar la sedimentación de sólidos en el fondo.

El funcionamiento del sifón se da por diferencias de cargas, esta diferencia debe absorber todas las pérdidas que se produzcan en el mecanismo de la conducción producido por todas las componentes intervinientes.

Los resultados de los parámetros hidráulicos se presentan en la sección B.1.2.1 de la Memoria de Cálculo.



b. Acueducto

Materiales

- Tubería de acero al carbono

Ventajas:

- Se fabrican en grandes diámetros
- No sufren deterioro por los rayos UV, pudiendo instalarse sin recubrimiento (expuesta).

Desventajas:

- Son de alto costo
- Problemas de corrosión interna y externa, requieren mayor mantenimiento

- Tubería de GRP

Ventajas:

- Son de menor costo que el acero.
- Fácil de instalar.
- Disponibilidad en grandes diámetros
- No se corroe interiormente ni externamente, requieren mínimo mantenimiento.

Desventajas:

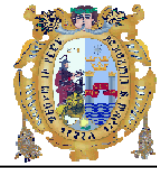
- Requieren más cuidado en la instalación.

c. Selección

Se ha seleccionado el uso de tubería GRP.

Criterios de diseño

Aplicación de la Fórmula Manning para el cálculo de la tubería.



. **Coefficiente de rugosidad**

Se recomienda utilizar un valor de para 0.011, en la planta y por razones de operacionales y como factor de seguridad se consideró un coeficiente con un valor de 0.013.

. **Recubrimiento**

En el caso del acueducto la tubería irá descubierta. No se ha registrado efectos nocivos de los rayos UV a tuberías de GRP, pero por razones de seguridad se tendrá un recubrimiento de protección contra los rayos UV.

- **Socavación y nivel de instalación del acueducto**

Para el diseño del acueducto, se debe conocer la socavación para poder determinar el nivel de instalación de la estructura.

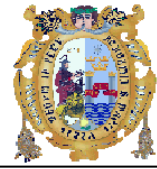
. **Caudal de avenidas en el río Chili en el punto de cruce del acueducto**

Se ha efectuado el análisis de máximas avenidas para periodos de retorno entre 500 a 1000 años (Estudio Hidrología), observándose que la variación entre los correspondientes a 500 y 1000 años es de 13 %.

Los tirantes máximos generados para esos caudales en la línea del acueducto proyectado a la sección transversal del río Chili son de 2.28 y 2.37 m, respectivamente, es decir, con una diferencia de 0.09 m, mínima diferencia que se debe principalmente al ancho del cauce, el cual sobrepasa los 300 m.

Teniendo en cuenta que las inversiones del proyecto se encuentran por encima de los 100 millones de dólares, monto de relevante importancia conlleva a manejar menores riesgos, por tanto mayor seguridad.

En este orden de ideas, desde el punto de vista técnico, de minimización del riesgo, de mayor seguridad, de mínimo incremento de gastos, etc. resultó aconsejable la utilización del caudal de avenidas correspondiente a un periodo de retorno de 1,000 años.



. **Altura Mínima del Acueducto sobre el río Chili**

Las principales consideraciones de diseño tomada en cuenta para designar la altura mínima del acueducto sobre el cauce del Chili fueron las siguientes:

- Caudales máximos en el río y altura máxima del nivel libre del agua.
- Borde libre de seguridad (material de arrastre)
- Zonas de inundación en las márgenes del río.
- Infraestructura existente.
- Envergadura del Proyecto y sus costos de inversión.
- Impacto social y ambiental

La mayor parte de las consideraciones de diseño para definir la altura del acueducto está directamente relacionada a eventos hidrológicos al que el Perú esta acostumbrado a sobrellevar cada cierto periodo como es el Fenómeno de El Niño. A raíz de este fenómeno, se ha podido experimentar en los ríos peruanos caudales muy superiores a los registrados, destruyendo numerosas estructuras construidas en los cauces. En las últimas dos décadas, se ha podido experimentar mayor frecuencia de este evento extraordinario.

XIII. MEMORIA DE CÁLCULO ESPECIALIDAD HIDRÁULICA/SANITARIA

13.1 EMISOR TUNALES

FÓRMULA UTILIZADA

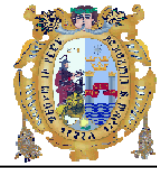
Los conductos cerrados con flujo libre se diseñan de acuerdo a la fórmula de Manning.

$$V = \frac{1}{n} R^{2/3} S^{1/2}$$

Donde:

- V : Velocidad (m/s)
n : Coeficiente de rugosidad de Manning
R : Radio hidráulico (m)
S : Pendiente (m/m)

$$Q = V \cdot A \quad ; \quad R = A/P$$



Donde:

Q : Caudal (m³/s)
A : Área mojada (m²)
P : Perímetro mojado (m)

Datos de diseño

En el Cuadro N° 3 se presentan el rango de parámetros utilizados para el cálculo hidráulico del flujo en las tuberías tanto del emisor Alata - PTAR Sitio B y de los colectores Arancota y Huaranguillo que son los principales colectores de la ciudad.

Los colectores Tiabaya y Tunales por su magnitud son considerados como pequeñas descargas.

En la Figura N° 12 se presenta el arreglo final del emisor Alata - PTAR Tunales.

CUADRO N° 21
DATOS PARA CÁLCULO HIDRÁULICO DE CONDUCTOS A GRAVEDAD
EMISOR TUNALES

Colectores	Material de la Tubería	Q _{mh} (m ³ /s)	Q _p (m ³ /s)	n	S (m/m)	D (m)
Alata	GRP	3.215	1.569	-	-	-
Arancota	GRP	0.517	0.200	0.011	0.01 0.0015	0.60 0.70
Huaranguillo	GRP	0.614	0.236	0.011	0.01 0.0015	0.60 0.70
Pequeñas Descargas	-	0.219	0.067	-	-	-
EMISOR (Caudal Acumulado)						
1er Tramo: Alata - Arancota	GRP	3.215 ^(*)	1.569	0.011	0.001	1.70 / 1.80
2do Tramo: Arancota - Huaranguillo	GRP	3.599 ^(*)	1.768	0.011	0.001 0.0011	1.80
3er Tramo: Huaranguillo - Planta	GRP	4.204 ^(*)	2.071	0.011	0.001 0.0011	1.90

GRP: GLASS FIBRE REINFORCED PLASTIC

Q_{mh}: Caudal Máximo Horario

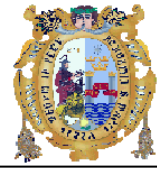
Q_p: Caudal Promedio

n: Coeficiente de Rugosidad de Manning

S: Pendiente de la Conducción

D: Diámetro de la Tubería

(*) El cálculo del caudal de máximo consumo para el dimensionamiento del tramo del Emisor toma en consideración el coeficiente de variación del total del caudal de la población acumulada en el tramo dado, incluyendo los aportes de infiltración, industriales y de precipitación. Debido a ello, el caudal máximo horario no es la sumatoria de los valores del caudal máximo horario de cada colector. El detalle de la obtención de los caudales de diseño para el Emisor se presenta en los cuadros N° 1 y 2.



CUADRO N° 22
DATOS PARA CÁLCULO HIDRÁULICO DE CONDUCTOS A GRAVEDAD
EMISOR ESCALERILLA

Obras	Qmh (m ³ /s)	Qp (m ³ /s)	n	S	D (m)
Cono Norte	0.925	0.403	0.011	0.01 0.005	0.80

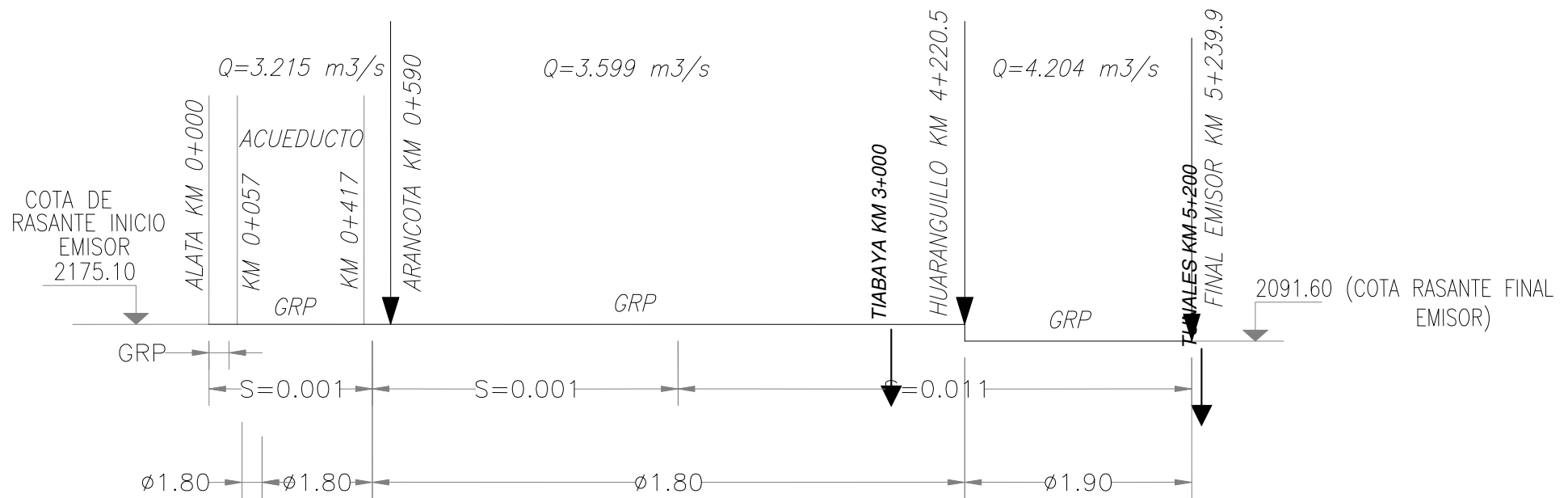
Cálculos

A continuación, se presentan los cuadros que contienen los cálculos respectivos, donde se somborean los valores seleccionados. A continuación se presenta el significado de cada parámetro utilizado en los cuadros siguientes:

$D(m)$:	Diámetro Nominal de la Tubería
$S(m/m)$:	Pendiente del tramo considerado
n :	Coefficiente de Rugosidad de Manning
$Q(m^3/s)$:	Caudal de diseño de la Tubería
$d(m)$:	Tirante o altura del nivel del agua sobre el fondo del conducto
$d/D(m/m)$:	Relación Tirante / Diámetro
$A/D^2(m^2/m^2)$:	Relación Área / Diámetro de la tubería elevado al cuadrado
$A(m^2)$:	Área transversal del flujo
$P/D(m/m)$:	Relación Perímetro / Diámetro
$P(m)$:	Perímetro de contacto del flujo con el conducto
$r/D(m/m)$:	Relación Radio Hidráulico / Diámetro de la Tubería
$r(m)$:	Radio Hidráulico
$V(m/s)$:	Velocidad del Flujo
$F = \frac{V}{\sqrt{g \cdot d}}$:	Número de Froude
$\sigma(Pa) = \gamma \times r \times S$:	Tensión Tractiva
$VA = Q = \frac{1}{n} r^{2/3} S^{1/2} A$	
Despejando:	
$\frac{Qn}{S^{1/2}} = Ar^{2/3}$:	Verificación de igualdad de la ecuación de Manning.



FIGURA N° 14
EMISOR ALATA - TUNALES (Sitio B)



EMISOR ALATA – PTAR TUNALES (SITIO B) CONDUCCION FINAL



ARANCOTA

Datos:

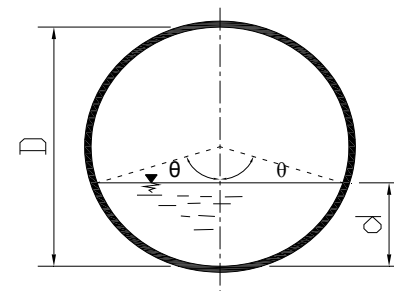
$Q = 0.517 \text{ m}^3/\text{s}$ Caudal Máximo Horario

$Q = 0.2 \text{ m}^3/\text{s}$ Caudal Promedio

$n = 0.011$ Coeficiente de Rugosidad de Manning (Tubería de GRP)

$\gamma = 10000 \text{ N/m}^3$ Peso específico del líquido

$$Q = \frac{1}{n} \times r^{2/3} \times S^{1/2} \times A$$



D (m)	s (m/m)	n	Q (m ³ /s)	d (m)	d/D (m/m)	$Qn/S^{1/2}$	A/D^2 (m ² /m ²)	A (m ²)	P/D (m/m)	P (m)	r/D (m/m)	r (m)	$Ar^{2/3}$	V (m/s)	F	σ (Pa)	$(Qn/S^{1/2} - Ar^{2/3})$
0.6	0.010	0.011	0.517	0.37	0.62	0.0569	0.5115	0.184	1.8132	1.0879	0.282	0.1691	0.0563	2.81	1.47	16.91	0.001
0.7	0.0015	0.011	0.517	0.65	0.93	0.1468	0.7642	0.374	2.6021	1.8215	0.292	0.2045	0.1300	1.38	0.55	3.07	0.017
0.6	0.010	0.011	0.2	0.22	0.36	0.0220	0.2546	0.092	1.287	0.7722	0.198	0.1187	0.0221	2.18	1.50	11.87	0.000
0.7	0.0015	0.011	0.2	0.34	0.48	0.0568	0.3727	0.183	1.5308	1.0716	0.243	0.1704	0.0561	1.10	0.60	2.56	0.001

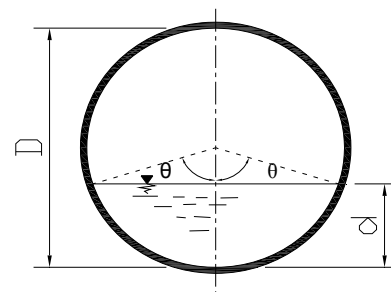


HUARANGUILLO

Datos:

Q= 0.614 m³/s Caudal Máximo Horario
Q= 0.236 m³/s Caudal Promedio
n= 0.011 Coeficiente de Rugosidad de Manning (Tubería de GRP)
γ= 10000 N/m³ Peso específico del líquido

$$Q = \frac{1}{n} \times r^{2/3} \times S^{1/2} \times A$$



D (m)	s (m/m)	n	Q (m ³ /s)	d (m)	d/D (m/m)	Qn/S ^{1/2}	A/D ² (m ² /m ²)	A (m ²)	P/D (m/m)	P (m)	r/D (m/m)	r (m)	Ar ^{2/3}	V (m/s)	F	σ (Pa)	(Qn/S ^{1/2} - Ar ^{2/3})
0.6	0.010	0.011	0.614	0.42	0.70	0.0675	0.5872	0.211	1.9823	1.1894	0.296	0.1777	0.0668	2.90	1.43	17.77	0.001
0.7	0.0015	0.011	0.614	0.64	0.92	0.1744	0.756	0.370	2.5681	1.7977	0.294	0.2059	0.1292	1.66	0.66	3.09	0.045
0.6	0.010	0.011	0.236	0.23	0.39	0.0260	0.2836	0.102	1.349	0.8094	0.210	0.1261	0.0257	2.31	1.53	12.61	0.000
0.7	0.0015	0.011	0.236	0.37	0.53	0.0670	0.4227	0.207	1.6308	1.1416	0.259	0.1814	0.0664	1.14	0.60	2.72	0.001



EMISOR 1ER TRAMO (C. ALATA - C. ARANCOTA)

Datos:

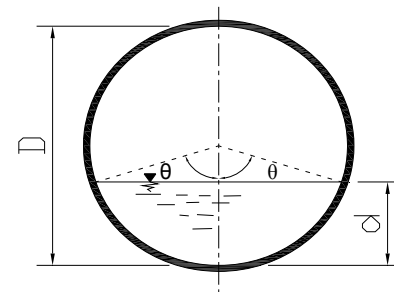
$Q = 3.215 \text{ m}^3/\text{s}$ Caudal Máximo Horario

$Q = 1.569 \text{ m}^3/\text{s}$ Caudal Promedio

$n = 0.011$ Coeficiente de Rugosidad de Manning (Tubería de GRP)

$\gamma = 10000 \text{ N/m}^3$ Peso específico del líquido

$$Q = \frac{1}{n} \times r^{2/3} \times S^{1/2} \times A$$



D (m)	s (m/m)	n	Q (m ³ /s)	d (m)	d/D (m/m)	$Qn/S^{1/2}$	A/D^2 (m ² /m ²)	A (m ²)	P/D (m/m)	P (m)	r/D (m/m)	r (m)	$Ar^{2/3}$	V (m/s)	F	σ (Pa)	$(Qn/S^{1/2} - Ar^{2/3})$
1.7	0.001	0.011	3.215	1.22	0.72	1.1183	0.6054	1.750	2.0264	3.4449	0.298	0.5073	1.1129	1.84	0.53	5.07	0.006
1.7	0.001	0.011	1.569	0.77	0.45	0.5458	0.3428	0.991	1.4706	2.5000	0.233	0.3963	0.5345	1.58	0.58	3.96	0.011
1.8	0.001	0.011	3.215	1.17	0.65	1.1183	0.5404	1.751	1.8755	3.3759	0.288	0.5186	1.1302	1.84	0.54	5.19	-0.012
1.8	0.001	0.011	1.569	0.76	0.42	0.5458	0.313	1.014	1.4101	2.5382	0.222	0.3996	0.5502	1.55	0.57	4.00	-0.004



EMISOR 2DO TRAMO (C. ARANCOTA - C. HUARANGUILLO)

Datos:

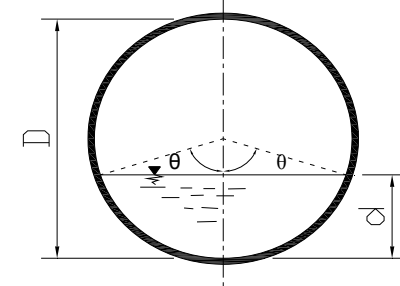
$Q = 3.599 \text{ m}^3/\text{s}$ Caudal Máximo Horario

$Q = 1.768 \text{ m}^3/\text{s}$ Caudal Promedio

$n = 0.011$ Coeficiente de Rugosidad de Manning (Tubería de GRP)

$\gamma = 10000 \text{ N/m}^3$ Peso específico del líquido

$$Q = \frac{1}{n} \times r^{2/3} \times S^{1/2} \times A$$



D (m)	s (m/m)	n	Q (m ³ /s)	d (m)	d/D (m/m)	$Qn/S^{1/2}$	A/D^2 (m ² /m ²)	A (m ²)	P/D (m/m)	P (m)	r/D (m/m)	r (m)	$Ar^{2/3}$	V (m/s)	F	σ (Pa)	$(Qn/S^{1/2} - Ar^{2/3})$
1.8	0.001	0.011	3.599	1.26	0.70	1.2519	0.5872	1.903	1.9823	3.5681	0.296	0.5332	1.2509	1.89	0.54	5.33	0.001
1.8	0.011	0.011	3.599	0.61	0.34	0.3775	0.2355	0.763	1.2451	2.2412	0.189	0.3404	0.3720	4.72	1.93	37.44	0.006
1.8	0.001	0.011	1.768	0.81	0.45	0.6150	0.3428	1.111	1.4706	2.6471	0.233	0.4196	0.6225	1.59	0.56	4.20	-0.008
1.8	0.011	0.011	1.768	0.43	0.24	0.1854	0.1449	0.469	1.0239	1.8430	0.142	0.2549	0.1887	3.77	1.83	28.04	-0.003



EMISOR 3ER TRAMO (C. HUARANGUILLO - PTAR TUNALES (SITIO B))

Datos:

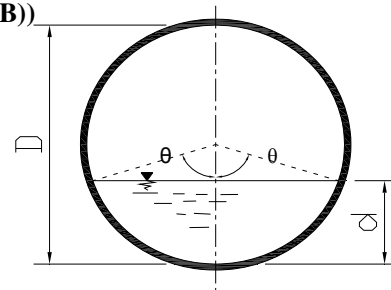
$Q = 4.204 \text{ m}^3/\text{s}$ Caudal Máximo Horario

$Q = 2.071 \text{ m}^3/\text{s}$ Caudal Promedio

$n = 0.011$ Coeficiente de Rugosidad de Manning (Tubería de GRP)

$\gamma = 10000 \text{ N/m}^3$ Peso específico del líquido

$$Q = \frac{1}{n} \times r^{2/3} \times S^{1/2} \times A$$



D (m)	s (m/m)	n	Q (m ³ /s)	d (m)	d/D (m/m)	$Qn/S^{1/2}$	A/D^2 (m ² /m ²)	A (m ²)	P/D (m/m)	P (m)	r/D (m/m)	r (m)	$Ar^{2/3}$	V (m/s)	F	σ (Pa)	$(Qn/S^{1/2} - Ar^{2/3})$
1.9	0.001	0.011	4.204	1.35	0.71	1.4624	0.5964	2.153	2.0042	3.8080	0.297	0.5649	1.4712	1.95	0.54	5.65	-0.009
1.9	0.011	0.011	4.204	0.67	0.35	0.4409	0.245	0.884	1.2661	2.4056	0.194	0.3677	0.4539	4.75	1.86	40.44	-0.013
1.9	0.001	0.011	2.071	0.86	0.45	0.7204	0.3428	1.238	1.4706	2.7941	0.233	0.4429	0.7190	1.67	0.58	4.43	0.001
1.9	0.011	0.011	2.071	0.46	0.24	0.2172	0.1449	0.523	1.0239	1.9454	0.142	0.2690	0.2180	3.96	1.87	29.59	-0.001



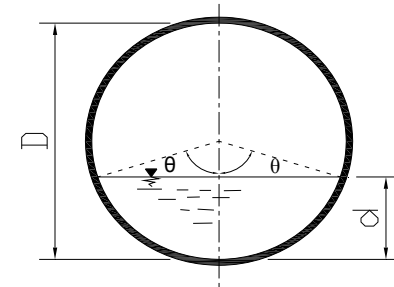
PAMPA ESCALERILLA - CONO NORTE

CONO NORTE

Datos:

$Q = 0.925 \text{ m}^3/\text{s}$ caudal máximo horario
 $Q = 0.403 \text{ m}^3/\text{s}$ caudal promedio
 $n = 0.011$ coeficiente de rugosidad de Manning
 $\gamma = 10000 \text{ N/m}^3$ Peso específico del líquido

$$Q = \frac{1}{n} \times R^{2/3} \times s^{1/2} \times A$$



D (m)	s (m/m)	n	Q (m ³ /s)	d (m)	d/D	Qn/S ^{1/2}	A/D ²	A (m ²)	P/D	P (m)	r/D	r (m)	Ar ^{2/3}	V (m/s)	Froude	Tension Tractiva (pa)	Verifica (Qn/S ^{1/2} - Ar ^{2/3})
0.8	0.010	0.011	0.925	0.44	0.55	0.1018	0.4426	0.283	1.671	1.3368	0.265	0.2119	0.1007	3.27	1.57	21.19	0.001
0.8	0.005	0.011	0.925	0.56	0.70	0.1439	0.5872	0.376	1.9823	1.5858	0.296	0.2370	0.1439	2.46	1.05	11.85	0.000
0.8	0.010	0.011	0.403	0.28	0.35	0.0443	0.245	0.157	1.2661	1.0129	0.194	0.1548	0.0452	2.57	1.55	15.48	-0.001
0.8	0.005	0.011	0.403	0.34	0.42	0.0627	0.313	0.200	1.4101	1.1281	0.222	0.1776	0.0633	2.01	1.11	8.88	-0.001



13.2 OBRAS DE ARTE

13.2.1 Llegada del Emisor a la Planta de Tratamiento

Debido a que se requiere condiciones hidráulicas de relativa quietud para las aguas residuales a su llegada a la Planta de Tratamiento, se está considerando un Sifón Invertido de 62m de longitud en el extremo final del Emisor Alata – Tunales.

El sifón se inicia en el buzón N° 42 (el cual cumplirá la función de una cámara de carga) proyectado por el Consultor, el cual tiene una cota de tapa y fondo de 2,098.65 y 2,092.28 msnm, respectivamente.

Las velocidades en tubería del sifón deberán ser tal que genere la suficiente tensión tractiva capaz de evitar la sedimentación de sólidos en el fondo.

Obras	Q _{mh} (m ³ /s)	D (m)	Gradiente (m/km)	hf total (m)	V (m/s)
Entrada a PTAR KM 5+177 – 5+239	4,204	1.90	0.81	0.27	1.48

Obras	Q _p (m ³ /s)	D (m)	Gradiente (m/km)	hf total (m)	V (m/s)
Entrada a PTAR KM 5+177 – 5+239	2,071	1.90	0.22	0.07	0.73

El planteamiento, diseño y funcionamiento de la estructura planteada está supeditada a la experiencia del Consultor.

13.2.2 Acueducto

Datos de diseño

Obras	Q _{mh} (m ³ /s)	Q _p (m ³ /s)	n	S (m/m)	D (m)
Acueducto KM 0+057 – 0+0417	3,215	1,569	0.011	0.001	1.80 / 1.90

GRP: GLASS FIBRE REINFORCED PLASTIC

Q_{mh}: Caudal Máximo Horario

Q_p: Caudal Promedio

n: Coeficiente de Rugosidad de Manning

S: Pendiente de la Conducción

D: Diámetro de la Tubería



ACUEDUCTO RÍO CHILI (C. ALATA - C. ARANCOTA)

Datos:

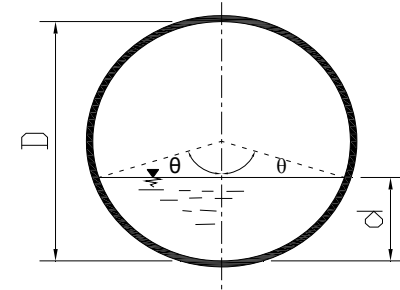
$Q = 3.215 \text{ m}^3/\text{s}$ Caudal Máximo Horario

$Q = 1.569 \text{ m}^3/\text{s}$ Caudal Promedio

$n = 0.011$ Coeficiente de Rugosidad de Manning (Tubería de GRP)

$\gamma = 10000 \text{ N/m}^3$ Peso específico del líquido

$$Q = \frac{1}{n} \times r^{2/3} \times S^{1/2} \times A$$



D (m)	s (m/m)	n	Q (m ³ /s)	d (m)	d/D (m/m)	$Qn/S^{1/2}$	A/D^2 (m ² /m ²)	A (m ²)	P/D (m/m)	P (m)	r/D (m/m)	r (m)	$Ar^{2/3}$	V (m/s)	F	σ (Pa)	$(Qn/S^{1/2} - Ar^{2/3})$
1.8	0.001	0.011	3.215	1.17	0.65	1.1183	0.5404	1.751	1.8755	3.3759	0.288	0.5186	1.1302	1.84	0.54	5.19	-0.012
1.8	0.001	0.011	1.569	0.76	0.42	0.5458	0.313	1.014	1.4101	2.5382	0.222	0.3996	0.5502	1.55	0.57	4.00	-0.004
1.9	0.001	0.011	3.215	1.12	0.59	1.1183	0.4822	1.741	1.7518	3.3284	0.275	0.5231	1.1301	1.85	0.56	5.23	-0.012
1.9	0.001	0.011	1.569	0.74	0.39	0.5458	0.2836	1.024	1.349	2.5631	0.210	0.3994	0.5552	1.53	0.57	3.99	-0.010



a. Cruce del Emisor Alata-Tunales sobre el Cauce del Chili mediante la construcción de un Acueducto

Sección del acueducto en aguas del río

- Perfil Hidráulico (HEC RAS), se ha seleccionado la avenida 1 en 1000 años equivalente a un caudal de $901.4 \text{ m}^3/\text{s}$ (ver Cuadro N° 4)
- Cálculo de Socavación en pilares y estribos
- Cálculo y diseño de defensa ribereña y del talud de relleno de la Planta en sitio B.

Se adjuntan salida del Programa HEC RAS (Método de la Ecuación de Energía de Bernoulli) aplicado en el tramo del Acueducto y de la zona de la PTAR Sitio B.

CUADRO N° 23: CAUDALES DE DISEÑO

Periodo de Retorno Años	Caudal Máximo (m^3/s)	
	Tunales y Acueducto	Qda. S/N en Tunales
5	174.8	0.52
10	241.5	0.77
20	344.3	1.05
50	461.1	1.32
100	555.3	1.55
200	657.8	1.78
500	795	2.08
1,000	901.4	2.32

b. Cálculo de la rugosidad de Manning del cauce del río Chili

- **Aplicando el método del USBR**

$n_0 = 0.020$ Material tierras

$n_1 = 0.010$ Irregularidad moderado

$n_2 = 0.005$ Sección Transversal Varía ocasionalmente

$n_3 = 0.000$ Obstrucciones despreciables

$n_4 = 0.007$ Vegetación Baja

$m_5 = 1.15$ Meandros apreciables

$n = 1.15 (0.020 + 0.010 + 0.005 + 0.00 + 0.007)$

$n = m_5 (n_0 + n_1 + n_2 + n_3 + n_4)$



$$n = 0.049$$

- Según el Manual del US Geological Survey Water Supply, rugosidades características de corrientes naturales, Paper 1849, el coeficiente de rugosidad debe ser 0.043, conforme a la similitud de condiciones, de cauce presentado en la Figura N° 78 de dicho Manual.

Como se aprecia los valores de rugosidad obtenidos por ambos métodos son similares, por lo tanto, por ser ligeramente más conservador, se selecciona el coeficiente de rugosidad de 0.049.

XIV. CONCLUSIONES

- Los estudios para la ubicación de la Planta de tratamiento y los distintos tratamientos, así como los sistemas de emisores fueron estudiados a nivel de prefactibilidad y comprendió 14 alternativas, de las cuales se seleccionaron dos (2) para ser estudiadas a un nivel de Factibilidad (1. Planta Unica en Pampa Estrella; 2. Dos Plantas: Los Tunales y Pampa Escalerilla), de las cuales solo la alternativa de dos plantas fue estudiada a nivel de Ingeniería Básica.
- Se realizaron estudios básicos tales como: Topografía, geología, geotecnia, hidrología, vulnerabilidad, impacto ambiental, los cuales sirvieron de base para los diseños hidráulicos del emisor y las estructuras propias del tratamiento.
- La ubicación es técnica y económicamente viable.
- El monografista participó activamente en la ejecución de los estudios básicos y la elaboración de los informes técnicos.
- El trabajo fue desarrollado por una empresa peruana con profesionales peruanos, asesorados por profesionales extranjeros que cuentan la capacitación necesaria para la implementación de los sistemas de tratamiento.
- Los estudios básicos y los diseños hidráulicos fueron elaborados netamente por profesionales nacionales.



XV. RECOMENDACIONES

- La contaminación de los cauces naturales, lagos, lagunas y mares es un problema a nivel mundial y que hoy en día viene dándose énfasis en su remediación. Los ingenieros somos los llamados a la concientización de los daños ambientales que se generan por el vertimiento de los residuos líquidos y sólidos a las corrientes de agua.
- El estudio desarrollado comprende una solución a la problemática de contaminación del río Chili, recomendando la ejecución del proyecto.
- Se recomienda adoptar medidas de conducción y tratamiento de las aguas residuales a plantas de tratamiento en otras ciudades del Perú.



XVI. BIBLIOGRAFÍA

- FUNDAMENTOS DE HIDROLOGÍA SUPERICIAL: Francisco Aparicio
- HIDROLOGÍA: Máximo Villón B.
- HIDRÁULICA DE CANALES ABIERTOS: Ven Te Chow
- HIDRÁULICA DE CANALES: Edmundo Rendón V.
- FUNDAMENTOS DE GEOTECNICA: BRAJA – DHAS
- REGLAMENTO NACIONAL DE EDIFICACIONES
- ESTÁNDARES DE CALIDAD DE AGUA
- BOLETÍN N° 24: GEOLOGÍA DEL CUADRÁNGULO DE AREQUIPA
- CARTA NACIONAL DEL IGN – 33S
- CARTA GEOLÓGICA DEL INGEMMET – 33S





TAHAL Consulting Engineers Ltd.

ESTUDIO DE FACTIBILIDAD E INGENIERIA BASICA
DEL SISTEMA DE TRATAMIENTO DE AGUAS
RESIDUALES PARA LA CIUDAD DE AREQUIPA

TAHAL

EXCAVACION : CA - 01ES

PROYECTO : Pampa Escalerilla

INICIO:

ESTRUCTURA : Emisor a Pampa Escalerilla

TERMINO:

METODO DE EXCAV.: Manual

COORDENADAS : 8188 460 N, 219 950 E

TAMAÑO EXCAV.:

COTA/PROGRESIVA : 2346msnm / 0+000 aprox.

OBSERVACIONES :

OPERADOR : JCP / PMA

PROFUNDIDAD (m)	CLASIFICACION		PRUEBAS DE CAMPO			DESCRIPCION
	SUCS	SIMBOLOGIA	MUESTRA	DENSIDAD NATURAL (g/cm ³)	DENSIDAD RELATIVA (%)	
0.15 0.20						Arena con pequeños fragmentos liticos color gris claro, suelta. Clasificacion SUCS: SP-SM
0.40 0.45						Arena suelta color pardo claro con pequeños fragmentos liticos, pomez Clasificacion SUCS: SM
0.60 0.80 0.85						Arena de puzolana medianamente densa, color rosada claro con pequeños fragmentos liticos de pomez. Clasificacion SUCS: SM
1.00 1.20						Arena densa, color gris con pequeños fragmentos liticos y pomez. Clasificacion SUCS: SM
1.35 1.40 1.60 1.80 2.00 2.20 2.40 2.60 2.80 3.00						Puzolana muy densa. Clasificacion SUCS: SM

M1



TAHAL Consulting Engineers Ltd.

ESTUDIO DE FACTIBILIDAD E INGENIERIA BASICA
DEL SISTEMA DE TRATAMIENTO DE AGUAS
RESIDUALES PARA LA CIUDAD DE AREQUIPA

TAHAL

EXCAVACION : CA - 02ES

PROYECTO : Pampa Escalerilla

INICIO:

ESTRUCTURA : Pampa La Escalerilla

TERMINO:

METODO DE EXCAV.: Manual

COORDENADAS : 8188 713 N, 219 711E

TAMAÑO EXCAV.:

COTA : 2321

OBSERVACIONES :

OPERADOR : JCP / PMA

PROFUNDIDAD (m)	CLASIFICACION		PRUEBAS DE CAMPO			DESCRIPCION
	SUCS	SIMBOLOGIA	MUESTRA	DENSIDAD NATURAL (g/cm ³)	DENSIDAD RELATIVA (%)	
0.15 0.20						Arena suelta, color gris clara , grano fino a medio,suelta Clasificacion SUCS: SM
0.40 0.50						Arena suelta, pardo claro con finas raices y pequeños fragmentos liticos, bajo peso especifico Clasificacion SUCS: SM
0.60 0.80						Cantos rodados de 5 a 10 cm de diametro (50%) subangulares a subredondeados con matriz de gravilla (35%)y arena gruesa (15%). Clasificacion SUCS: GP.
0.90 1.00						Arena con pomez (50%) y arena (40%) suelta. Clasificacion SUCS: SP
1.20 1.40						Toba redepositada color beige, cementada con fragmentos liticos (20%) subangulosos a subredondeados y pomez (10%) , matriz (70%). Clasificacion SUCS: SP.
1.50 1.60						Arena media a gruesa (40%), gravilla (40%) y grava (20%) suelta, color pardo , clastos subangulosos. Clasificacion SUCS: SP.
1.80 2.00						Toba redepositada color beige, cementada. Clasificacion SUCS: SP.
2.20 2.40						Cantos redondeados, diversidad de tamaños (5 a 10 cm). Clasificacion SUCS: GP.
2.60 2.80						Toba redepositada color beige, cementada, muy denso. Clasificacion SUCS: SM.
2.90 3.00						Puzolana color rosado claro, muy densa, Clasificacion SUCS: SM

M1



RESIDUALES PARA LA CIUDAD DE AREQUIPA

DEL SISTEMA DE TRATAMIENTO DE AGUAS

EXCAVATION:

INICIO:

TERMINO:

nicot

3.60 m

OPERADOR:

PMA/LVG

PROYECTO:

TERMINO:

nicot

3.60 m

OPERADOR:

PMA/LVG

DESCRIPCION	PROFUNDIDAD (m)					
	SUCS	SIMBOLOGIA	MUESTRA	DENSIDAD NATURAL (g/cm ³)	DENSIDAD RELATIVA (%)	
	CLASIFICACION					0.50
						1.00
						1.10
						1.50
						2.00
						2.20
						2.50
Arena limosa, pardo claro, con raíces medianamente densa. Clasificación SUCS:SM						3.00
Grava arenosa, subangular - subredondeada, pardo oscuro (humedad),medianamente densa a muy densa. Clasificación SUCS:GP-SM						3.50
Bolonia, gris, redondeada a subredondeada. Bloques (30 cm) 10%; cantos (15-20cm) 20 a 30%; arena limosa. Clasificación SUCS: GW						4.00
						4.50
						5.00
						5.50



RESIDUALES PARA LA CIUDAD DE AREQUIPA

EXCAVATION:

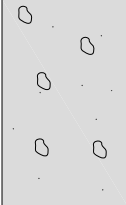

INICIO: 20/04/2008

TERMINO: 20/04/2008

COORDENADAS : 223189 E / 8179560 N

COTA/PROGRESIVA: 2143 ms/m/2+867.64 aprox.

OPERADOR: PMA/LVG

PROFUNDIDAD (m)	CLASIFICACION		MUESTRA	DENSIDAD NATURAL (g/cm ³)	DENSIDAD RELATIVA (%)	DESCRIPCION
	SUCS	SIMBOLOGIA				
0.50 1.00 1.50 1.70 2.00 2.50 2.80						Arena limosa, de color beige, de grano fino a medio con clastos de 5 a 8 cm de diametro (10%), medianamente densa. Clasificación SUCS:SM.
3.00 3.50 4.00 4.50 5.00 5.50						Bolonería de 40 a 60 cm de diametro, subredondeada com matriz de arena media a fina. Clasificación SUCS: SP-SM



RESIDUALES PARA LA CIUDAD DE AREQUIPA

TAHAL	PROYECTO :	Emisor Sitio B	COORDENADAS :	221900 E / 8180075 N
	METODO DE EXCAV.:	Mecanico	TERMINO:	20/04/2008
	TAMAÑO EXCAV.:	2.8 m	INICIO:	20/04/2008
	OBSERVACIONES :		EXCAVACION :	CAB - 03
			OPERADOR :	PMA/LVG
			COTA/PROGRESIVA :	2102 msnm/4+212.59 aprox.

TAHAL

EXCAVACION : CAB - 04

PROYECTO :

EMISOR SITIO B

ESTRUCTURA :

Mecánico

TAMAÑO EXCAV.:

1.6 m

OBSERVACIONES :

EXCAVACION :

CAB - 04

INICIO:

20/04/2008

TERMINO:

20/04/2008

COORDENADAS :

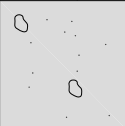

221441 E / 8180528 N

COTA/PROGRESIVA :

2100 msnm/4+970.75 aprox.

OPERADOR :

PMA/LVG

PROFUNDIDAD (m)	CLASIFICACION		MUESTRA	DENSIDAD NATURAL (g/cm3)	DENSIDAD RELATIVA (%)	DESCRIPCION
	SUCS	SIMBOLOGIA				
0.50						Arena de color grís oscuro, presencia de agua, con clastos de 10 a 20 cm de diámetro subredondeado medianamente densa. Clasificación SUCS:SW
1.00						Bolonería de 40 a 60 cm (60%); en matriz arenosa, con presencia de agua. Clasificación SUCS:GW
1.50						
1.60						
2.00						
2.50						
3.00						
3.50						
4.00						
4.50						
5.00						
5.50						

N.F.: NIVEL FREATICO



TAHAL Consulting Engineers Ltd.

ESTUDIO DE FACTIBILIDAD E INGENIERIA BASICA
DEL SISTEMA DE TRATAMIENTO DE AGUAS
RESIDUALES PARA LA CIUDAD DE AREQUIPA

TAHAL

PROYECTO :

ESTRUCTURA : Sitio B

METODO DE EXCAV.: Mecanico

TAMAÑO EXCAV.: 3.30 m

OBSERVACIONES :

EXCAVACION : CB - 01

INICIO: 20/04/2008

TERMINO: 20/04/2008

COORDENADAS : 221037 E / 8181770 N

COTA : 2088 msnm

OPERADOR : PMA/LVG

PROFUNDIDAD (m)	CLASIFICACION		PRUEBAS DE CAMPO		DESCRIPCION
	SUCS	SIMBOLOGIA	MUESTRA	DENSIDAD NATURAL (g/cm ³)	DENSIDAD RELATIVA (%)
0.50 1.00 1.50 1.70					
2.00 2.20 2.50 3.00 3.30			M1		
3.50 4.00 4.50 5.00 5.50					

Arena de grano medio, con fragmentos granulares de gravilla (13%), de color marron, suelta a medianamente densa.
Clasificación SUCS: SM

Arena de grano medio a fino, conglomeradica (0.5 a 4 cm), con clastos lavicos andesiticos (25%), de color marron, ligeramente mas oscura que la capa superior, medianamente a muy densa.
Clasificación SUCS: SM



TAHAL Consulting Engineers Ltd.

ESTUDIO DE FACTIBILIDAD E INGENIERIA BASICA
DEL SISTEMA DE TRATAMIENTO DE AGUAS
RESIDUALES PARA LA CIUDAD DE AREQUIPA

TAHAL

PROYECTO :

ESTRUCTURA : Sitio B

METODO DE EXCAV.: Mecanico

TAMAÑO EXCAV.: 3.20 m

OBSERVACIONES :

EXCAVACION : CB - 02

INICIO: 20/04/2008

TERMINO: 20/04/2008

COORDENADAS : 220880 E / 8181904 N

COTA : 2080 msnm

OPERADOR : PMA/LVG

PROFUNDIDAD (m)	CLASIFICACION		PRUEBAS DE CAMPO			DESCRIPCION
	SUCS	SIMBOLOGIA	MUESTRA	DENSIDAD NATURAL (g/cm ³)	DENSIDAD RELATIVA (%)	
0.50						Arena limosa, presencia de raices medianamente densa. Clasificación SUCS: SM
0.90 1.00						Arena limosa de grano medio a grueso, con gravilla, de color pardo claro, con ocasionales clastos (5%) lavicos y de ignimbrita, medianamente densa. Clasificación SUCS: SM
1.50						
2.00						
2.20						
2.50						Arena de grano medio, de color pardo, conglomeradico (30%) con diametro de 5 a 3 cm. Clasificación SUCS: SM
3.00						
3.20						
3.50						
4.00						
4.50						
5.00						
5.50						



TAHAL Consulting Engineers Ltd.

ESTUDIO DE FACTIBILIDAD E INGENIERIA BASICA
DEL SISTEMA DE TRATAMIENTO DE AGUAS
RESIDUALES PARA LA CIUDAD DE AREQUIPA

TAHAL

PROYECTO :

ESTRUCTURA : Sitio B

METODO DE EXCAV.: Mecanico

TAMAÑO EXCAV.: 2 m

OBSERVACIONES :

EXCAVACION : CB - 05

INICIO: 20/04/2008

TERMINO: 20/04/2008

COORDENADAS : 220581 E / 8181087 N

COTA : 2071 msnm

OPERADOR : PMA/LVG

PROFUNDIDAD (m)	CLASIFICACION		PRUEBAS DE CAMPO			DESCRIPCION
	SUCS	SIMBOLOGIA	MUESTRA	DENSIDAD NATURAL (g/cm ³)	DENSIDAD RELATIVA (%)	
0.50						Arena, gris oscura a negra, de grano fino a medio, ligeramente limosa, medianamente densa . Clasificación SUCS: SM
N.F. 1.00						Arena, de color pardo oscuro, medianamente a muy densa . Clasificación SUCS: SM
1.50						
2.00						
2.50						
3.00						
3.50						
4.00						
4.50						
5.00						
5.50						

N.F.: NIVEL FREATICO



TAHAL Consulting Engineers Ltd.

ESTUDIO DE FACTIBILIDAD E INGENIERIA BASICA
DEL SISTEMA DE TRATAMIENTO DE AGUAS
RESIDUALES PARA LA CIUDAD DE AREQUIPA

TAHAL

EXCAVACION : CB - 06

PROYECTO :

INICIO: 20/04/2008

ESTRUCTURA : Sitio B

TERMINO: 20/04/2008

METODO DE EXCAV.: Mecanico

COORDENADAS : 220370 E / 8181042 N

TAMAÑO EXCAV.: 4 m

COTA : 2070 msnm




OBSERVACIONES :

OPERADOR : PMA/LVG

PROFUNDIDAD (m)	CLASIFICACION		PRUEBAS DE CAMPO			DESCRIPCION
	SUCS	SIMBOLOGIA	MUESTRA	DENSIDAD NATURAL (g/cm ³)	DENSIDAD RELATIVA (%)	
0.50						Arena limosa, de color beige, suelta, hay raices hasta los 70 cm. Clasificación SUCS: SM
1.00						Arena de grano medio a grueso, de color pardo rosaceo, con clastos ignimbriticos rosado (15%), medianamente densa. Clasificación SUCS: SM
1.50						
1.80						
2.00						Arena limosa (70%), conglomeradica, de color beige oscuro, clastos de 1 a 20 cm de diametro subredondeados, redondeados a subangulosos, clastos mas grande hacia la base, con presencia de humedad 12%, medianamente a muy densa. Clasificacion SUCS: SP-SM
2.50						
3.00						
3.50						
4.00						
4.50						
5.00						
5.50						



EXCAVACION :	CE - 01
INICIO:	15/04/2008
TERMINO:	15/10/2008
COORDENADAS :	219600 E / 8188890 N
COTA :	2325
OPERADOR :	PMA/LVG

PROFUNDIDAD (m)	CLASIFICACION		PRUEBAS DE CAMPO			DESCRIPCION
	SUCS	SIMBOLOGIA	MUESTRA	DENSIDAD NATURAL (g/cm3)		
0.50 0.60						Arena de grano fino, con puzolana redepositada, de color beige oscuro,suelta. Clasificacion SUCS: SM
1.00 1.50 2.00 2.20 2.50 3.00 3.50 4.00 4.50 5.00						Puzolana, con pomez (20%) y fragmentos liticos (5%) de color rosado claro, con presencia ligera de humedad,medianamente densa. Clasificacion SUCS: SP
5.50						



TAHAL Consulting Engineers Ltd.

ESTUDIO DE FACTIBILIDAD E INGENIERIA BASICA
DEL SISTEMA DE TRATAMIENTO DE AGUAS
RESIDUALES PARA LA CIUDAD DE AREQUIPA

TAHAL

EXCAVACION : CE - 02

PROYECTO : Pampa Escalerilla

INICIO: 15/04/2008

ESTRUCTURA : Emisor Pampa la Escalerilla

TERMINO: 15/04/2008

METODO DE EXCAV.: Mecanico

COORDENADAS : 219604 E / 8188824 N

TAMAÑO EXCAV.: 5 m

COTA : 2322

OBSERVACIONES :

OPERADOR : PMA/LVG

PROFUNDIDAD (m)	CLASIFICACION		PRUEBAS DE CAMPO			DESCRIPCION
	SUCS	SIMBOLOGIA	MUESTRA	DENSIDAD NATURAL (g/cm ³)	DENSIDAD RELATIVA (%)	
0.50						Puzolana rosada, suelta, con fragmentos liticos (5%), suelta a medianamente densa. Clasificacion SUCS: SM
1.00						
1.50						Puzolana rosada, medianamente compacta, con fragmentos liticos oscuros subangulosos de 2 cm de diametro (5%) y con ligera humedad, medianamente densa. Clasificacion SUCS: SM
2.00						
2.50						
3.00						
3.50						
4.00						
4.50						
5.00						
5.50						

M1



TAHAL Consulting Engineers Ltd.

ESTUDIO DE FACTIBILIDAD E INGENIERIA BASICA
DEL SISTEMA DE TRATAMIENTO DE AGUAS
RESIDUALES PARA LA CIUDAD DE AREQUIPA

TAHAL

EXCAVACION : CE - 03

PROYECTO : Pampa Escalerilla

INICIO: 15/04/2008

ESTRUCTURA : Pampa la Escalerilla

TERMINO: 15/04/2008

METODO DE EXCAV.: Mecanico

COORDENADAS : 219776 E / 8188742 N

TAMAÑO EXCAV.: 5 m

COTA : 2319

OBSERVACIONES :

OPERADOR : PMA/LVG

PROFUNDIDAD (m)	CLASIFICACION		PRUEBAS DE CAMPO			DESCRIPCION
	SUCS	SIMBOLOGIA	MUESTRA	DENSIDAD NATURAL (g/cm ³)	DENSIDAD RELATIVA (%)	
0.50						Arena gravosa, con cantos (5 a 10 cm) de diametro,suelta a medianamente suelta. Clasificación SUCS: SP
1.00						Arena gravosa, cementada,medianamente a muy densa. Clasificación SUCS:SP- SM
1.50						Puzolana ligeramente marrón,medianamente densa. Clasificación SUCS:SM
2.00						Puzolana rosada, medianamente compacta, con fragmentos líticos oscuros subangulosos de 2 cm de diametro (5%) y con ligera humedad,medianamente densa. Clasificación SUCS:SM
2.50						
3.00						
3.50						
4.00						
4.50						
5.00						
5.50						

M1



TAHAL Consulting Engineers Ltd.

ESTUDIO DE FACTIBILIDAD E INGENIERIA BASICA
DEL SISTEMA DE TRATAMIENTO DE AGUAS
RESIDUALES PARA LA CIUDAD DE AREQUIPA

TAHAL

PROYECTO : Pampa Escalerilla
ESTRUCTURA : Pampa la Escalerilla
METODO DE EXCAV.: Mecanico
TAMAÑO EXCAV.: 5 m
OBSERVACIONES :

EXCAVACION : CE - 04
INICIO: 15/04/2008
TERMINO: 15/04/2008
COORDENADAS : 219776 E / 8188834 N
COTA : 2320
OPERADOR : PMA/LVG

PROFUNDIDAD (m)	CLASIFICACION		PRUEBAS DE CAMPO			DESCRIPCION
	SUCS	SIMBOLOGIA	MUESTRA	DENSIDAD NATURAL (g/cm ³)	DENSIDAD RELATIVA (%)	
0.50						Ceniza gris clara, muy suelta. Clasificación SUCS: SM-SP
0.70						Arena blanca color beige, arena con pequeños líticos, muy suelta. Clasificación SUCS: SM
1.00						Arena (40%) conglomeradica (60%) clastos (1 a 15cm) ocasionales bolones (60cm) color beige claro, medianamente densa. Clasificación SUCS: SW
1.50						
1.80						
2.00						Arena (45%) conglomeradica (55%) gravosa con clastos (1 a 4cm) color beige, medianamente densa. Clasificación SUCS: SW
2.50						
2.80						
3.00						Estratos de arena limosa y arena de grano medio a grueso gravilla color marron a marron grisaceo, medianamente densa. Clasificación SUCS: SP
3.50						
4.00						
4.50						
4.80						
5.00						Lapilli de pomez blanco.
5.10						Arena gruesa con gravilla. Arena (60%), gravilla (40%). Clasificación SUCS: SP
5.30						
5.50						

M1



TAHAL Consulting Engineers Ltd.

ESTUDIO DE FACTIBILIDAD E INGENIERIA BASICA
DEL SISTEMA DE TRATAMIENTO DE AGUAS
RESIDUALES PARA LA CIUDAD DE AREQUIPA

TAHAL

EXCAVACION : CE - 05

PROYECTO : Pampa Escalerilla

INICIO: 15/04/2008

ESTRUCTURA : Pampa la Escalerilla

TERMINO: 15/04/2008

METODO DE EXCAV.: Mecanico

COORDENADAS : 219689 E / 8188672 N

TAMAÑO EXCAV.: 5 m

COTA : 2317

OBSERVACIONES :

OPERADOR : PMA/LVG

PROFUNDIDAD (m)	CLASIFICACION		PRUEBAS DE CAMPO			DESCRIPCION
	SUCS	SIMBOLOGIA	MUESTRA	DENSIDAD NATURAL (g/cm ³)	DENSIDAD RELATIVA (%)	
0.50						Arena gris parduzca (35%), suelta, con fragmentos subangulosos de bolones de andesitas porfiriticas rojizas de 30 a 40 cm de diametro (25%), cantos de 5 a 10 cm (20%) y gravas de 2 a 5 cm (20%). Clasificación SUCS:SP
1.00						
1.50						Mayor presencia de cantos 5 a 10 cm (40%) y gravas de 2 a 5 cm (30%) subredondeadas a subangulares en matriz limo arenosa granocreciente medianamente densa(30%),todo el conjunto gris parduzco. Clasificación SUCS:SP
2.00						
2.50						Puzolana, con mayores cantidades de pomez de 2cm, gris rosacea un poco mas oscura,medianamente densa. Clasificación SUCS:SM
3.00						
3.25						Puzolana rosacea clara, medianamente a muy densa. Clasificación SUCS:SM
3.50						
4.00						
4.50						
5.00						
5.50						

M1



TAHAL Consulting Engineers Ltd.

ESTUDIO DE FACTIBILIDAD E INGENIERIA BASICA
DEL SISTEMA DE TRATAMIENTO DE AGUAS
RESIDUALES PARA LA CIUDAD DE AREQUIPA

TAHAL

EXCAVACION : CE - 06

PROYECTO : Pampa Escalerilla

INICIO: 15/04/2008

ESTRUCTURA : Pampa la Escalerilla

TERMINO: 15/04/2008

METODO DE EXCAV.: Mecanico

COORDENADAS : 219805 E / 8188743 N

TAMAÑO EXCAV.: 5 m

COTA : 2320

OBSERVACIONES :

OPERADOR : PMA/LVG

PROFUNDIDAD (m)	CLASIFICACION		PRUEBAS DE CAMPO			DESCRIPCION
	SUCS	SIMBOLOGIA	MUESTRA	DENSIDAD NATURAL (g/cm ³)	DENSIDAD RELATIVA (%)	
0.20						Arena mediana gris clara,suelta .Clasificación SUCS:SP-SM
0.50						Arena gravosa (arena 55%, grava 45%) beige, liticos con 0.5 - 10cm Clasificación SUCS:SM
1.00						
1.50						
2.00						
2.50						
2.65						Arena limo gravosa (arena 60%, grava 40%), beige oscuro, liticos (0.5 - 5cm),medianamente densa. Clasificación SUCS:SM
3.00						
3.50						
3.75						Lapilli de pomez, color blanco Clasificacion: SP-SM
4.00						
4.50						Puzolana, que forma terrones, con poca presion se deshace, liticos de 1-5cm (5-8%),medianamente densa. Clasificación SUCS:SP-SM
4.85						
4.90						
5.00						
5.50						



TAHAL Consulting Engineers Ltd.

ESTUDIO DE FACTIBILIDAD E INGENIERIA BASICA
DEL SISTEMA DE TRATAMIENTO DE AGUAS
RESIDUALES PARA LA CIUDAD DE AREQUIPA

TAHAL

EXCAVACION : CEE - 01

PROYECTO : Pampa Escalerilla

INICIO: 15/04/2008

ESTRUCTURA : Emisor Pampa la Escalerilla

TERMINO: 15/04/2008

METODO DE EXCAV.: Mecanico

COORDENADAS : 219915 E / 8189410 N

TAMAÑO EXCAV.: 5 m

COTA/PROGRESIVA : 2343msnm/0+060.70 aprox.

OBSERVACIONES :

OPERADOR : PMA/LVG

PROFUNDIDAD (m)	CLASIFICACION		PRUEBAS DE CAMPO			DESCRIPCION
	SUCS	SIMBOLOGIA	MUESTRA	DENSIDAD NATURAL (g/cm ³)	DENSIDAD RELATIVA (%)	
0.50 1.00 1.50 1.60						Arena media a fina, de color gris, medianamente densa, con intercalaciones de grava subangular de 1 a 2cm de diámetro, en bancos estratificados de 10cm a 15 cm. Hacia la base grava más gruesa de 2 a 4 cm de diámetro de forma subangular. Clasificación SUCS :SM.
2.00 2.50 3.00 3.20						Arena limosa de color beige (50%), con presencia de grava subangular de 4 a 5cm de diámetro (30%) y gravilla(20%), medianamente densa. Clasificación SUCS :SM.
3.50 4.00 4.50 5.00 5.50						Material Volcánico Puzolanico, con presencia de clastos líticos (andesíticos) 20% y pomez, presenta humedad, de color rosado claro a oscuro, medianamente densa. Clasificación SUCS: SP.

M1



TAHAL Consulting Engineers Ltd.

ESTUDIO DE FACTIBILIDAD E INGENIERIA BASICA
DEL SISTEMA DE TRATAMIENTO DE AGUAS
RESIDUALES PARA LA CIUDAD DE AREQUIPA

TAHAL

EXCAVACION : CEE - 02

PROYECTO : Pampa Escalerilla

INICIO: 15/04/2008

ESTRUCTURA : Ptar. Escalerilla

TERMINO: 15/04/2008

METODO DE EXCAV.: Mecanico

COORDENADAS : 219480 E / 8188950 N

TAMAÑO EXCAV.: 5 m

COTA : 2329msnm

OBSERVACIONES :

OPERADOR : PMA/LVG

PROFUNDIDAD (m)	CLASIFICACION		PRUEBAS DE CAMPO			DESCRIPCION
	SUCS	SIMBOLOGIA	MUESTRA	DENSIDAD NATURAL (g/cm ³)	DENSIDAD RELATIVA (%)	
0.50 0.60						Arena suelta a medianamente densa de grano medio a fino, con presencia de ceniza, ambos de color gris. Clasificación SUCS :SP-SM.
1.00 1.50 2.00 2.20						Arena medianamente densa con pómez de color beige, con presencia de clastos subangulares de 1 a 2cm de diámetro. Clasificación SUCS :SM.
2.50 3.00 3.50 4.00 4.50 5.00 5.50						Material Volcánico Puzolanico ,medianamente densa ,de color rosado claro con pomez de 0.5 a 1 cm de diametro (20%) y líticosde 0.5 a 5 cm de diametro con ligera humedad (5%). Clasificación SUCS :SM.



ENSAYOS DE MECÁNICA DE SUELOS



UNIVERSIDAD CATOLICA DE SANTA MARIA
PROGRAMA PROFESIONAL DE INGENIERIA CIVIL
LABORATORIO DE SUELOS Y CONCRETO
CAYETANO ARENAS N° 152 - PARQUE INDUSTRIAL - AREQUIPA
TELEFONO: 054-227915 FAX: 054-251213

SOLICITA : TAHAL
PROYECTO : PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS
SERVIDAS DE AREQUIPA
UBICACIÓN : CERRO COLORADO / TIABAYA -
AREQUIPA - AREQUIPA
FECHA : 28 DE ABRIL DEL 2008

ANALISIS GRANULOMETRICO POR TAMIZADO
(NORMA ASTM D- 422)

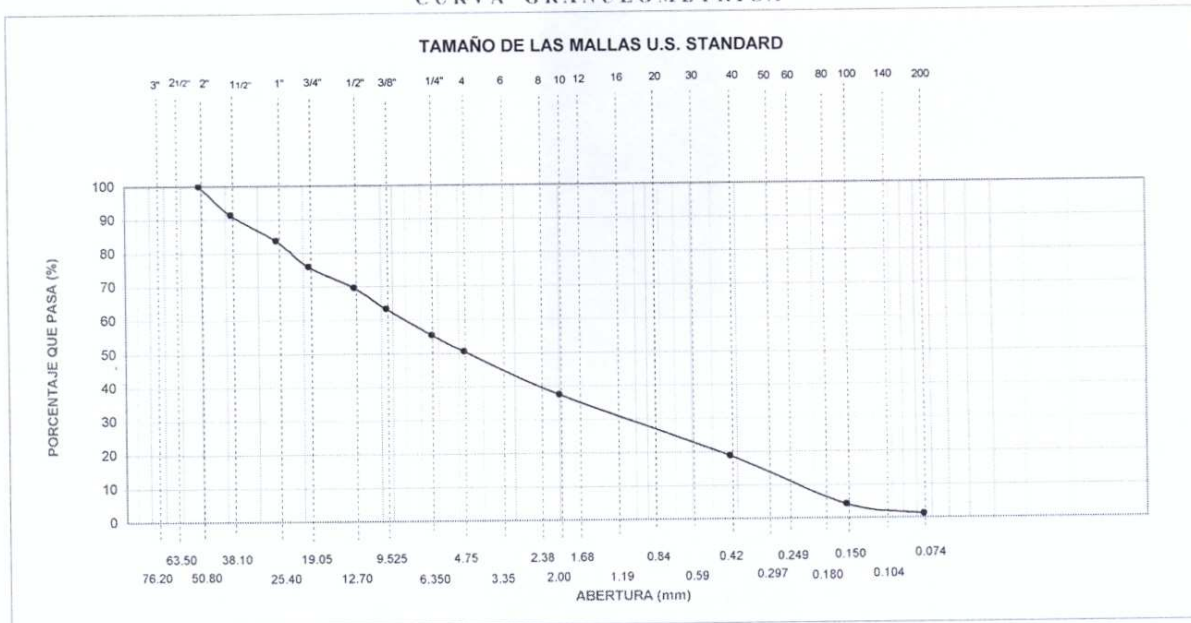
MUESTRA :
PROCEDENCIA :

CAB - 01
PLANTA TIABAYA - TIABAYA

EXPEDIENTE N° : 0658-013-LS-08

GRANULOMETRIA					DESCRIPCION DE LA MUESTRA	
TAMICES ASTM	PESO RETENIDO	% RETENIDO PARCIAL	% RETENIDO ACUMULADO	% QUE PASA		
2"	0,0	0,00	0,00	100,00	PESO ORIGINAL	3 904,60
1 1/2"	334,8	8,57	8,57	91,43		
1"	303,6	7,78	16,35	83,65	GRAVA	49,48%
3/4"	301,4	7,72	24,07	75,93	ARENA	49,30%
1/2"	248,4	6,36	30,43	69,57	FINOS	1,22%
3/8"	246,3	6,31	36,74	63,26		
1/4"	308,6	7,90	44,64	55,36	Cu	31,70
N° 4	188,9	4,84	49,48	50,52	Cc	0,89
N° 10	512,1	13,12	62,60	37,40		
N° 40	725,7	18,59	81,18	18,82	LIMITE LIQUIDO	NP
N° 100	570,8	14,62	95,80	4,20	LIMITE PLASTICO	NP
N° 200	116,4	2,98	98,78	1,22	INDICE DE PLASTICIDAD	-
< N° 200	47,6	1,22	100,00	0,00		
					CLASIFICACION SUCS	GW

CURVA GRANULOMETRICA



OBSERVACIONES : La muestra fue proporcionada por el solicitante indicando la procedencia

UNIVERSIDAD CATOLICA DE SANTA MARIA
PROGRAMA PROFESIONAL DE INGENIERIA CIVIL

TEC. FELIX GUTIERREZ ZAPATA
Tecn. Laboratorio de Suelos y Concreto

UNIVERSIDAD CATOLICA DE SANTA MARIA
PROGRAMA PROFESIONAL DE INGENIERIA CIVIL

ING. FERNANDO GARNICA CUBA
Encargado Laboratorios de Ingeniería Civil



UNIVERSIDAD CATOLICA DE SANTA MARIA
FACULTAD DE ARQUITECTURA E INGENIERIA CIVIL

ING. ALEJANDRO HIDALGO VALDIVIA
Encargado Área de Producción, Bienes y Servicios



UNIVERSIDAD CATOLICA DE SANTA MARIA
PROGRAMA PROFESIONAL DE INGENIERIA CIVIL
LABORATORIO DE SUELOS Y CONCRETO
CAYETANO ARENAS N° 152 - PARQUE INDUSTRIAL - AREQUIPA
TELEFONO: 054-227915 FAX: 054-251213

SOLICITA : TAHAL
PROYECTO : PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS
SERVIDAS DE AREQUIPA
UBICACIÓN : CERRO COLORADO / TIABAYA -
AREQUIPA - AREQUIPA
FECHA : 28 DE ABRIL DEL 2008

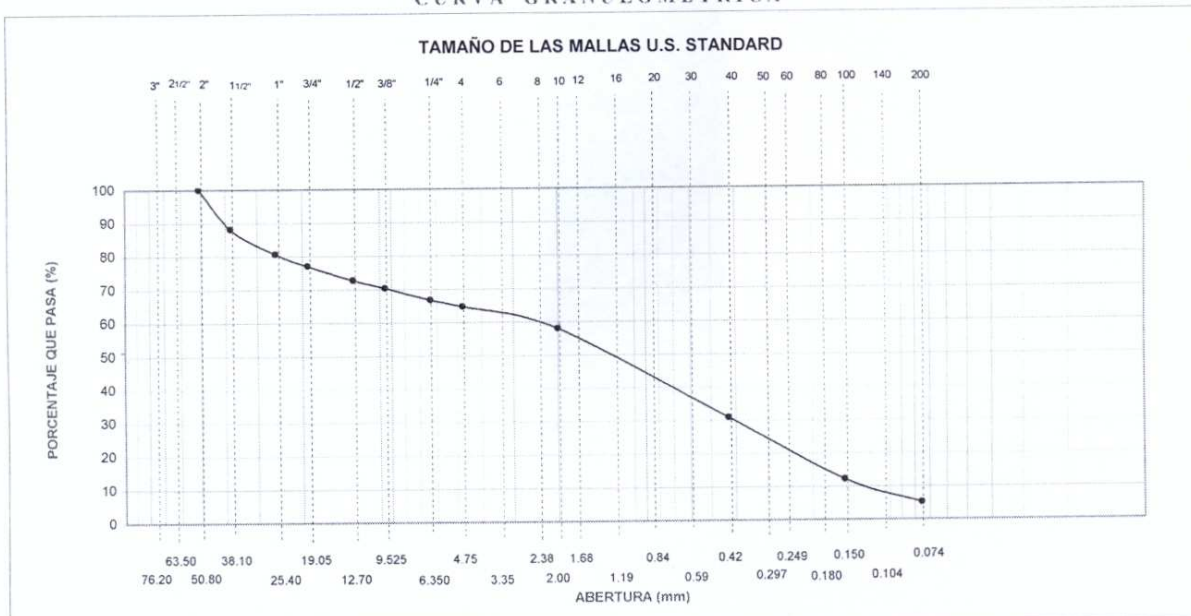
ANALISIS GRANULOMETRICO POR TAMIZADO (NORMA ASTM D- 422)

MUESTRA : CAB - 02
PROCEDENCIA : PLANTA TIABAYA - TIABAYA

EXPEDIENTE N° : 0658-014-LS-08

GRANULOMETRIA					DESCRIPCION DE LA MUESTRA	
TAMICES ASTM	PESO RETENIDO	% RETENIDO PARCIAL	% RETENIDO ACUMULADO	% QUE PASA		
2"	0,0	0,00	0,00	100,00	PESO ORIGINAL	3 681,30
1 1/2"	436,7	11,86	11,86	88,14		
1"	276,3	7,51	19,37	80,63	GRAVA	35,33%
3/4"	132,5	3,60	22,97	77,03	ARENA	59,48%
1/2"	158,8	4,31	27,28	72,72	FINOS	5,19%
3/8"	88,0	2,39	29,67	70,33		
1/4"	132,1	3,59	33,26	66,74	Cu	22,40
N° 4	76,3	2,07	35,33	64,67	Cc	0,47
N° 10	247,1	6,71	42,05	57,95		
N° 40	998,4	27,12	69,17	30,83	LIMITE LIQUIDO	NP
N° 100	687,0	18,66	87,83	12,17	LIMITE PLASTICO	NP
N° 200	257,1	6,98	94,81	5,19	INDICE DE PLASTICIDAD	-
< N° 200	190,9	5,19	100,00	0,00		
					CLASIFICACION SUCS	SP - SM

CURVA GRANULOMETRICA



OBSERVACIONES : La muestra fue proporcionada por el solicitante indicando la procedencia

UNIVERSIDAD CATOLICA DE SANTA MARIA
PROGRAMA PROFESIONAL DE INGENIERIA CIVIL

TEC. FELIX GUTIERREZ ZAPATA
Tecn. Laboratorio de Suelos y Concreto

UNIVERSIDAD CATOLICA DE SANTA MARIA
PROGRAMA PROFESIONAL DE INGENIERIA CIVIL

ING. FERNANDO GARNICA CUBA
Encargado Laboratorios de Ingeniería Civil

UNIVERSIDAD CATOLICA DE SANTA MARIA
Facultad de Arquitectura e Ingeniería Civil
Área Producción Bienes y Servicios

ING. ALEJANDRO HIDALGO VALDIVIA
Encargado Área de Producción, Bienes y Servicios



UNIVERSIDAD CATOLICA DE SANTA MARIA
PROGRAMA PROFESIONAL DE INGENIERIA CIVIL
LABORATORIO DE SUELOS Y CONCRETO
CAVETANO ARENAS N° 152 - PARQUE INDUSTRIAL - AREQUIPA
TELEFONO: 054-227915 FAX: 054-251213

SOLICITA : TAHAL
PROYECTO : PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS
SERVIDAS DE AREQUIPA
UBICACIÓN : CERRO COLORADO / TIABAYA -
AREQUIPA - AREQUIPA
FECHA : 29 DE ABRIL DEL 2008

ANALISIS GRANULOMETRICO POR TAMIZADO (NORMA ASTM D- 422)

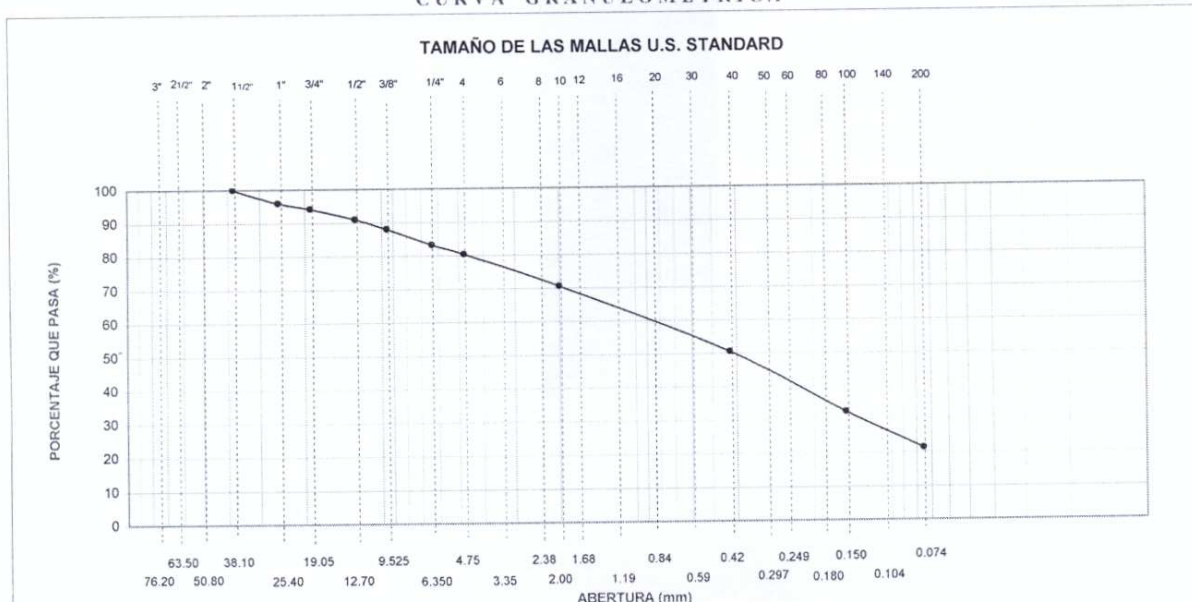
MUESTRA
PROCEDENCIA

: CB - 01
: PLANTA TIABAYA - TIABAYA

EXPEDIENTE N° : 0658-015-LS-08

GRANULOMETRIA					DESCRIPCION DE LA MUESTRA	
TAMICES ASTM	PESO RETENIDO	% RETENIDO PARCIAL	% RETENIDO ACUMULADO	% QUE PASA		
2"	0,0	0,00	0,00	100,00	PESO ORIGINAL	1 500,50
1 1/2"	0,0	0,00	0,00	100,00		
1"	61,4	4,09	4,09	95,91	GRAVA	19,66%
3/4"	25,5	1,70	5,79	94,21	ARENA	58,94%
1/2"	48,2	3,21	9,00	91,00	FINOS	21,40%
3/8"	44,9	2,99	12,00	88,00		
1/4"	71,5	4,77	16,76	83,24	Cu	33,31
N° 4	43,5	2,90	19,66	80,34	Cc	0,44
N° 10	146,6	9,77	29,43	70,57		
N° 40	300,0	19,99	49,42	50,58	LIMITE LIQUIDO	NP
N° 100	275,1	18,33	67,76	32,24	LIMITE PLASTICO	NP
N° 200	162,7	10,84	78,60	21,40	INDICE DE PLASTICIDAD	-
< N° 200	321,1	21,40	100,00	0,00		
					CLASIFICACION SUCS	SM

CURVA GRANULOMETRICA



OBSERVACIONES : La muestra fue proporcionada por el solicitante indicando la procedencia

UNIVERSIDAD CATOLICA DE SANTA MARIA
PROGRAMA PROFESIONAL DE INGENIERIA CIVIL

TEC. FELIX GUTIERREZ ZAPATA
Tecn. Laboratorio de Suelos y Concreto

UNIVERSIDAD CATOLICA DE SANTA MARIA
PROGRAMA PROFESIONAL DE INGENIERIA CIVIL

ING. FERNANDO GARNICA CUBA
Encargado Laboratorios de Ingeniería Civil



UNIVERSIDAD CATOLICA DE SANTA MARIA
FACULTAD DE ARQUITECTURA E INGENIERIA CIVIL

ING. ALEJANDRO HIDALGO VALDIVIA
Encargado Área de Producción, Bienes y Servicios



UNIVERSIDAD CATOLICA DE SANTA MARIA
PROGRAMA PROFESIONAL DE INGENIERIA CIVIL
LABORATORIO DE SUELOS Y CONCRETO
CAYETANO ARENAS N° 152 - PARQUE INDUSTRIAL - AREQUIPA
TELEFONO: 054-227915 FAX: 054-251213

SOLICITA : TAHAL
PROYECTO : PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS
SERVIDAS DE AREQUIPA
UBICACIÓN : CERRO COLORADO / TIABAYA -
AREQUIPA - AREQUIPA
FECHA : 30 DE ABRIL DEL 2008

ANALISIS GRANULOMETRICO POR TAMIZADO
(NORMA ASTM D- 422)

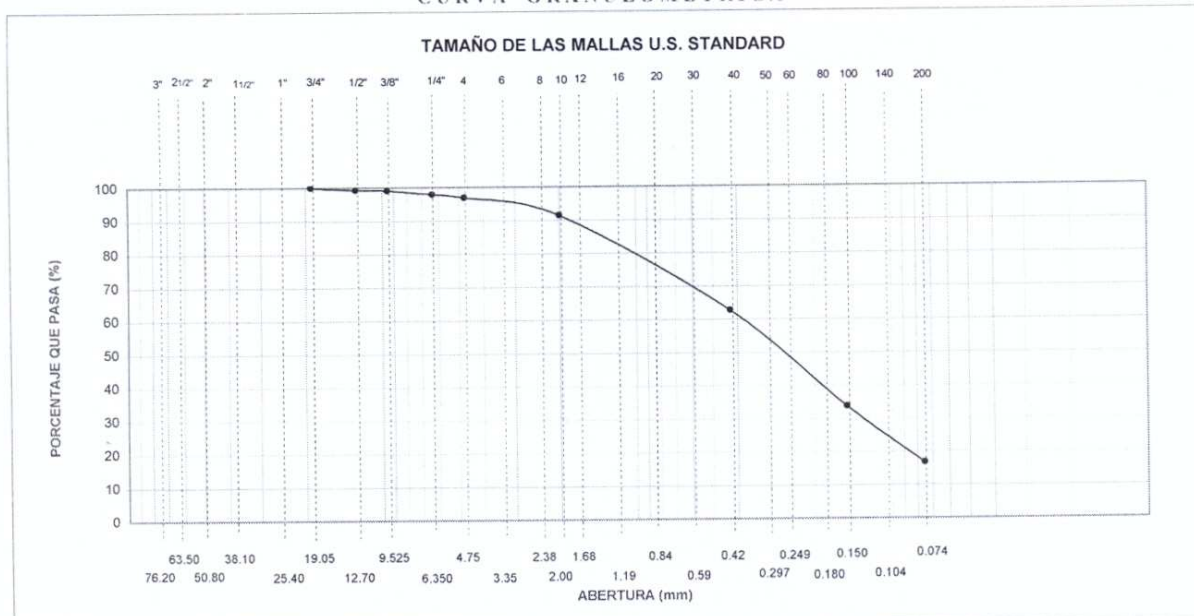
MUESTRA :
PROCEDENCIA :

CB - 05
PLANTA TIABAYA - TIABAYA

EXPEDIENTE N° : 0658-017-LS-08

GRANULOMETRIA					DESCRIPCION DE LA MUESTRA	
TAMICES ASTM	PESO RETENIDO	% RETENIDO PARCIAL	% RETENIDO ACUMULADO	% QUE PASA		
2"	0,0	0,00	0,00	100,00	PESO ORIGINAL	500,00
1 1/2"	0,0	0,00	0,00	100,00		
1"	0,0	0,00	0,00	100,00	GRAVA	3,16%
3/4"	0,0	0,00	0,00	100,00	ARENA	80,17%
1/2"	3,7	0,74	0,74	99,26	FINOS	16,68%
3/8"	1,1	0,22	0,96	99,04		
1/4"	5,6	1,12	2,08	97,92	Cu	8,89
N° 4	5,4	1,08	3,16	96,84	Cc	1,00
N° 10	27,2	5,44	8,60	91,40		
N° 40	143,6	28,72	37,32	62,68	LIMITE LIQUIDO	NP
N° 100	145,0	29,00	66,32	33,68	LIMITE PLASTICO	NP
N° 200	85,0	17,00	83,32	16,68	INDICE DE PLASTICIDAD	-
< N° 200	83,4	16,68	100,00	0,00		
					CLASIFICACION SUCS	SM

CURVA GRANULOMETRICA



OBSERVACIONES : La muestra fue proporcionada por el solicitante indicando la procedencia

UNIVERSIDAD CATOLICA DE SANTA MARIA
PROGRAMA PROFESIONAL DE INGENIERIA CIVIL

TEC. FELIX GUTIERREZ-ZAPATA
Tecn. Laboratorio de Suelos y Concreto

UNIVERSIDAD CATOLICA DE SANTA MARIA
PROGRAMA PROFESIONAL DE INGENIERIA CIVIL

ING. FERNANDO GARNICA CUBA
Encargado Laboratorios de Ingeniería Civil



UNIVERSIDAD CATOLICA DE SANTA MARIA
FACULTAD DE ARQUITECTURA E INGENIERIA CIVIL

ING. ALEJANDRO HIDALGO VALDIVIA
Encargado Área de Producción, Bienes y Servicios



UNIVERSIDAD CATOLICA DE SANTA MARIA
PROGRAMA PROFESIONAL DE INGENIERIA CIVIL
LABORATORIO DE SUELOS Y CONCRETO
CAYETANO ARENAS N° 152 - PARQUE INDUSTRIAL - AREQUIPA
TELÉFONO: 054-227915 FAX: 054-251213

SOLICITA : TAHAL
PROYECTO : PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS
SERVIDAS DE AREQUIPA
UBICACIÓN : CERRO COLORADO / TIABAYA -
AREQUIPA - AREQUIPA
FECHA : 26 DE ABRIL DEL 2008

ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO POR TAMIZADO
(NORMA ASTM D- 422)

MUESTRA : CB - 06

EXPEDIENTE N° : 0658-009-LS-08

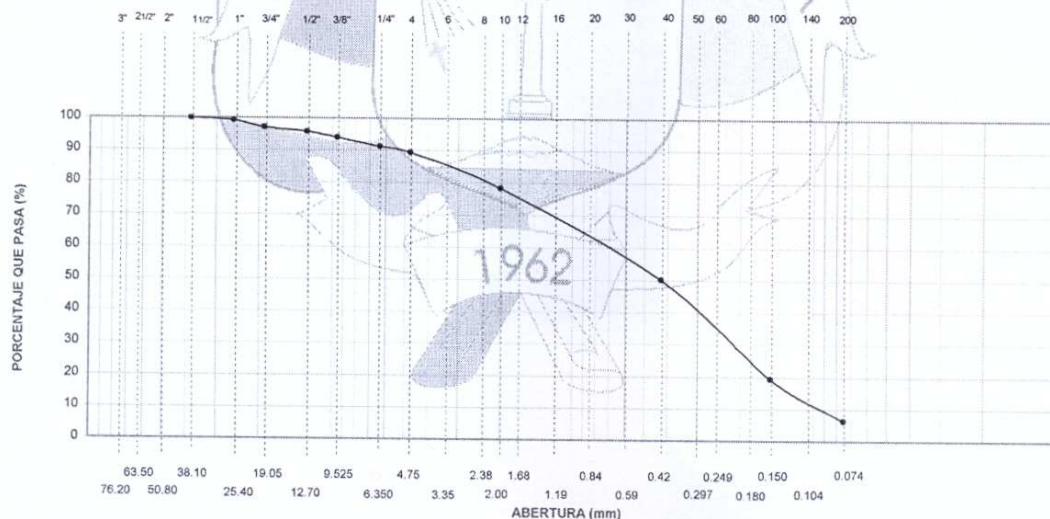
PROCEDENCIA : PLANTA SITIO B - TIABAYA

GRANULOMETRIA

TAMICES ASTM	PESO RETENIDO	% RETENIDO PARCIAL	% RETENIDO ACUMULADO	% QUE PASA	DESCRIPCION DE LA MUESTRA	
2"	0,0	0,00	0,00	100,00	PESO ORIGINAL	4 027,60
1 1/2"	0,0	0,00	0,00	100,00		
1"	32,3	0,80	0,80	99,20	GRAVA	10,66%
3/4"	81,8	2,03	2,83	97,17	ARENA	82,98%
1/2"	55,0	1,37	4,20	95,80	FINOS	6,36%
3/8"	74,8	1,86	6,06	93,94		
1/4"	112,0	2,78	8,84	91,16	Cu	10,15
N° 4	73,6	1,83	10,66	89,34	Cc	0,64
N° 10	443,3	11,01	21,67	78,33		
N° 40	1 133,4	28,14	49,81	50,19	LIMITE LIQUIDO	NP
N° 100	1 240,6	30,80	80,61	19,39	LIMITE PLASTICO	NP
N° 200	524,6	13,03	93,64	6,36	INDICE DE PLASTICIDAD	-
< N° 200	256,2	6,36	100,00	0,00		
					CLASIFICACION SUCS	SP - SM

CURVA GRANULOMETRICA

TAMAÑO DE LAS MALLAS U.S. STANDARD



OBSERVACIONES : - La muestra fue proporcionada por el solicitante

UNIVERSIDAD CATOLICA DE SANTA MARIA
PROGRAMA PROFESIONAL DE INGENIERIA CIVIL

TEC. FELIX GUTIERREZ ZAPATA
Tecn. Laboratorio de Suelos y Concreto

UNIVERSIDAD CATOLICA DE SANTA MARIA
PROGRAMA PROFESIONAL DE INGENIERIA CIVIL



ING° FERNANDO GARNICA CUBA
Encargado Laboratorios de Ingeniería Civil



UNIVERSIDAD CATOLICA DE SANTA MARIA
FACULTAD DE ARQUITECTURA E INGENIERIA CIVIL

ING° ALEJANDRO HIDALGO VALDIVIA
Encargado Área de Producción, Bienes y Servicios



UNIVERSIDAD CATOLICA DE SANTA MARIA
PROGRAMA PROFESIONAL DE INGENIERIA CIVIL
LABORATORIO DE SUELOS Y CONCRETO
CAYETANO ARENAS N° 152 - PARQUE INDUSTRIAL - AREQUIPA
TELÉFONO: 054-227915 FAX: 054-251213

SOLICITA : TAHAL
PROYECTO : PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS
SERVIDAS DE AREQUIPA
UBICACIÓN : CERRO COLORADO / TIABAYA -
AREQUIPA - AREQUIPA
FECHA : 23 DE ABRIL DEL 2008

ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO POR TAMIZADO
(NORMA ASTM D- 422)

MUESTRA : CE - 01

EXPEDIENTE N° : 0658-006-LS-08

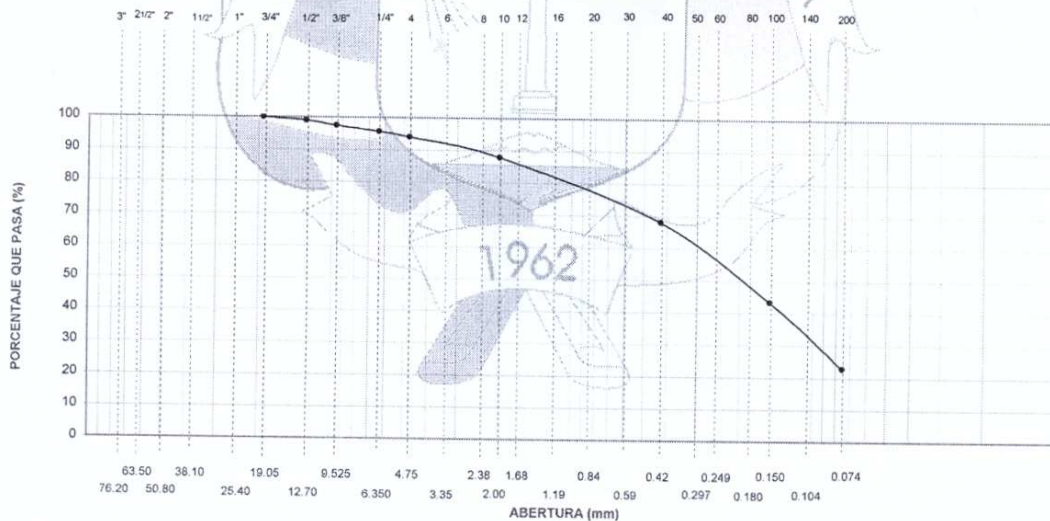
PROCEDENCIA : PLANTA ESCALERILLAS - CERRO COLORADO

GRANULOMETRIA

TAMICES ASTM	PESO RETENIDO	% RETENIDO PARCIAL	% RETENIDO ACUMULADO	% QUE PASA	DESCRIPCION DE LA MUESTRA	
2"	0,0	0,00	0,00	100,00	PESO ORIGINAL	800,00
1 1/2"	0,0	0,00	0,00	100,00		
1"	0,0	0,00	0,00	100,00	GRAVA	5,99%
3/4"	0,0	0,00	0,00	100,00	ARENA	71,18%
1/2"	7,6	0,95	0,95	99,05	FINOS	22,84%
3/8"	12,1	1,51	2,46	97,54		
1/4"	15,0	1,88	4,34	95,66	Cu	10,22
N° 4	13,2	1,65	5,99	94,01	Cc	0,93
N° 10	48,6	6,08	12,06	87,94		
N° 40	159,5	19,94	32,00	68,00	LIMITE LIQUIDO	NP
N° 100	196,8	24,60	56,60	43,40	LIMITE PLASTICO	NP
N° 200	164,5	20,56	77,16	22,84	INDICE DE PLASTICIDAD	-
< N° 200	182,7	22,84	100,00	0,00		
					CLASIFICACION SUCS	SP

CURVA GRANULOMETRICA

TAMAÑO DE LAS MALLAS U.S. STANDARD



OBSERVACIONES : - La muestra fue proporcionada por el solicitante

UNIVERSIDAD CATOLICA DE SANTA MARIA
PROGRAMA PROFESIONAL DE INGENIERIA CIVIL

Eduardo
TEC. FELIX GUTIERREZ ZAPATA
Tecn. Laboratorio de Suelos y Concreto



UNIVERSIDAD CATOLICA DE SANTA MARIA
PROGRAMA PROFESIONAL DE INGENIERIA CIVIL

Fernando
ING° FERNANDO GARNICA CUBA
Encargado Laboratorios de Ingeniería Civil



UNIVERSIDAD CATOLICA DE SANTA MARIA
FACULTAD DE ARQUITECTURA E INGENIERIA CIVIL

ING° ALEJANDRO HIDALGO VALDIVIA
Encargado Área de Producción, Bienes y Servicios



UNIVERSIDAD CATOLICA DE SANTA MARIA
PROGRAMA PROFESIONAL DE INGENIERIA CIVIL
LABORATORIO DE SUELOS Y CONCRETO
CAYETANO ARENAS N° 152 - PARQUE INDUSTRIAL - AREQUIPA
TELEFONO: 054-227915 FAX: 054-251213

SOLICITA : TAHAL
PROYECTO : PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS
SERVIDAS DE AREQUIPA
UBICACIÓN : CERRO COLORADO / TIABAYA -
AREQUIPA - AREQUIPA
FECHA : 27 DE ABRIL DEL 2008

**ANALISIS GRANULOMETRICO POR TAMIZADO
(NORMA ASTM D- 422)**

MUESTRA : CE - 04

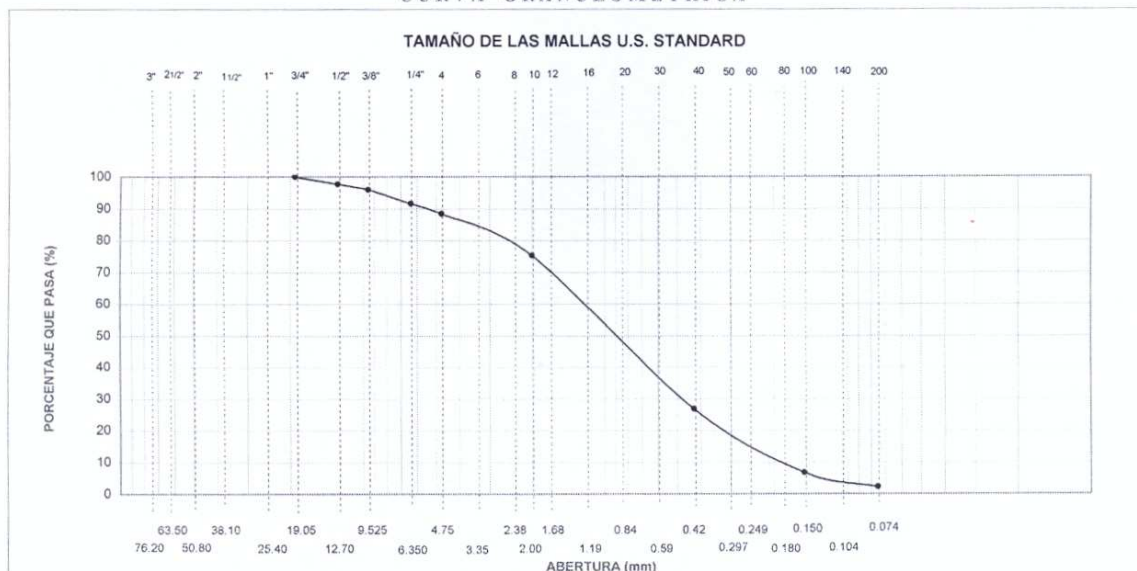
EXPEDIENTE N° : 0658-011-LS-08

PROCEDENCIA : PLANTA ESCALERILLAS - CERRO COLORADO

GRANULOMETRIA

TAMICES ASTM	PESO RETENIDO	% RETENIDO PARCIAL	% RETENIDO ACUMULADO	% QUE PASA	DESCRIPCION DE LA MUESTRA	
2"	0,0	0,00	0,00	100,00	PESO ORIGINAL	800,00
1 1/2"	0,0	0,00	0,00	100,00		
1"	0,0	0,00	0,00	100,00	GRAVA	11,55%
3/4"	0,0	0,00	0,00	100,00	ARENA	86,20%
1/2"	18,2	2,28	2,28	97,73	FINOS	2,25%
3/8"	14,2	1,78	4,05	95,95		
1/4"	35,1	4,39	8,44	91,56	Cu	7,72
N° 4	24,9	3,11	11,55	88,45	Cc	0,96
N° 10	105,6	13,20	24,75	75,25		
N° 40	387,9	48,49	73,24	26,76	LIMITE LIQUIDO	NP
N° 100	160,3	20,04	93,28	6,72	LIMITE PLASTICO	NP
N° 200	35,8	4,48	97,75	2,25	INDICE DE PLASTICIDAD	-
< N° 200	18,0	2,25	100,00	0,00		
					CLASIFICACION SUCS	SP

CURVA GRANULOMETRICA



OBSERVACIONES : - La muestra fue proporcionada por el solicitante

UNIVERSIDAD CATOLICA DE SANTA MARIA
PROGRAMA PROFESIONAL DE INGENIERIA CIVIL

TEC. FELIX GUTIERREZ ZAPATA
Tecn. Laboratorio de Suelos y Concreto



UNIVERSIDAD CATOLICA DE SANTA MARIA
PROGRAMA PROFESIONAL DE INGENIERIA CIVIL

ING. FERNANDO GARNICA CUBA
Encargado Laboratorios de Ingeniería Civil



UNIVERSIDAD CATOLICA DE SANTA MARIA
FACULTAD DE ARQUITECTURA E INGENIERIA CIVIL

ING. ALEJANDRO HIDALGO VALDIVIA
Encargado Área de Producción, Bienes y Servicios



AREQUIPA - PERU

UNIVERSIDAD CATOLICA DE SANTA MARIA

PROGRAMA PROFESIONAL DE INGENIERIA CIVIL

LABORATORIO DE MECANICA DE SUELOS Y CONCRETO

GRAVEDAD ESPECIFICA DE LOS SUELOS

(NORMA ASTM D-854)

SOLICITA : TAHAL
 PROYECTO : PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS SERVIDAS DE AREQUIPA
 UBICACION : CERRO COLORADO / TIABAYA - AREQUIPA - AREQUIPA

MUESTRA : CB - 6
 PROCEDENCIA : PLANTA TIABAYA - TIABAYA
 FECHA : 26 DE ABRIL DEL 2008

EXPEDIENTE N° : 0658-010-LS-08

PARTICULAS FINAS

	Muestra < N° 4
Frasco N°	2
Volumen del Frasco a 20°C	500,00 cc
Metodo de remoción del aire	Bomba de vacíos
Peso del suelo seco	300,00 gr
Peso frasco + agua	646,60 gr
Peso frasco + suelo + agua	826,60 gr
Volumen de la masa	120,00 gr
Temperatura (°C)	20 °C
Factor de corrección (K)	1,00000
Peso específico	2,50 gr/cm³

OBSERVACIONES : La muestra fue proporcionada por el solicitante

UNIVERSIDAD CATOLICA DE SANTA MARIA
 PROGRAMA PROFESIONAL DE INGENIERIA CIVIL

TEC. FELIX GUTIERREZ ZAPATA
 Tecnico Laboratorio de Suelos y Concreto

UNIVERSIDAD CATOLICA DE SANTA MARIA
 PROGRAMA PROFESIONAL DE INGENIERIA CIVIL



ING° FERNANDO GARNICA CUBA
 Encargado Laboratorios de Ingenieria Civil



UNIVERSIDAD CATOLICA DE SANTA MARIA
 FACULTAD DE ARQUITECTURA E INGENIERIA CIVIL

ING° ALEJANDRO HIDALGO VALDIVIA
 Encargado Area Producción, Bienes y Servicios



AREQUIPA - PERU

UNIVERSIDAD CATOLICA DE SANTA MARIA

PROGRAMA PROFESIONAL DE INGENIERIA CIVIL

LABORATORIO DE MECANICA DE SUELOS Y CONCRETO

GRAVEDAD ESPECIFICA DE LOS SUELOS

(NORMA ASTM D-854)

SOLICITA : TAHAL
PROYECTO : PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS SERVIDAS DE AREQUIPA
UBICACION : CERRO COLORADO / TIABAYA - AREQUIPA - AREQUIPA

MUESTRA : CE - 01
PROCEDENCIA : PLANTA ESCALERILLA - CERRO COLORADO
FECHA : 23 DE ABRIL DEL 2008

EXPEDIENTE N° : 0658-007-LS-08

PARTICULAS FINAS

	Muestra < N° 4
Frasco N°	2
Volumen del Frasco a 20°C	500,00 cc
Metodo de remoción del aire	Bomba de vacíos
Peso del suelo seco	300,00 gr
Peso frasco + agua	646,60 gr
Peso frasco + suelo + agua	811,50 gr
Volumen de la masa	135,10 gr
Temperatura (°C)	20 °C
Factor de corrección (K)	1,00000
Peso específico	2,22 gr/cm³

OBSERVACIONES : La muestra fue proporcionada por el solicitante

UNIVERSIDAD CATOLICA DE SANTA MARIA
PROGRAMA PROFESIONAL DE INGENIERIA CIVIL


TEC. FELIX GUTIERREZ ZAPATA
Tecnico Laboratorio de Suelos y Concreto

UNIVERSIDAD CATOLICA DE SANTA MARIA
PROGRAMA PROFESIONAL DE INGENIERIA CIVIL


ING° FERNANDO GARNICA CUBA
Encargado Laboratorios de Ingenieria Civil

UNIVERSIDAD CATOLICA DE SANTA MARIA
FACULTAD DE ARQUITECTURA E INGENIERIA CIVIL



ING° ALEJANDRO HIDALGO VALDIVIA
Encargado Area Producción, Bienes y Servicios

UNIVERSIDAD CATOLICA DE SANTA MARIA

PROGRAMA PROFESIONAL DE INGENIERIA CIVIL

LABORATORIO DE MECANICA DE SUELOS Y CONCRETO

GRAVEDAD ESPECIFICA DE LOS SUELOS

(NORMA ASTM D-854)

SOLICITA : TAHAL
PROYECTO : PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS SERVIDAS DE AREQUIPA
UBICACION : CERRO COLORADO / TIABAYA - AREQUIPA - AREQUIPA

MUESTRA : CEE - 01
PROCEDENCIA : EMISOR ESCALERILLA - CERRO COLORADO
FECHA : 05 DE MAYO DEL 2008

EXPEDIENTE N° : 0658-020-LS-08

PARTICULAS FINAS

	Muestra < N° 4
Frasco N°	1
Volumen del Frasco a 20°C	500,00 cc
Metodo de remoción del aire	Bomba de vacíos
Peso del suelo seco	300,00 gr
Peso frasco + agua	651,30 gr
Peso frasco + suelo + agua	813,40 gr
Volumen de la masa	137,90 gr
Temperatura (°C)	20 °C
Factor de corrección (K)	1,00000
Peso específico	2,18 gr/cm³

OBSERVACIONES : La muestra fue proporcionada por el solicitante

UNIVERSIDAD CATOLICA DE SANTA MARIA
PROGRAMA PROFESIONAL DE INGENIERIA CIVIL


TEC. FELIX GUTIERREZ ZAPATA
Tecnico Laboratorio de Suelos y Concreto

UNIVERSIDAD CATOLICA DE SANTA MARIA
PROGRAMA PROFESIONAL DE INGENIERIA CIVIL


LABORATORIO
SUELOS Y
CONCRETO
ING° FERNANDO GARNICA CUBA
Encargado Laboratorios de Ingeniería Civil

UNIVERSIDAD CATOLICA DE SANTA MARIA
FACULTAD DE ARQUITECTURA E INGENIERIA CIVIL


Area
Producción
Bienes y Servicios
AREQUIPA

ING° ALEJANDRO HIDALGO VALDIVIA
Encargado Area Producción, Bienes y Servicios

UNIVERSIDAD CATOLICA DE SANTA MARIA

PROGRAMA PROFESIONAL DE INGENIERIA CIVIL

LABORATORIO DE MECANICA DE SUELOS Y CONCRETO

DENSIDADES MAXIMAS Y MINIMAS (NORMA ASTM D-2049)

SOLICITA : TAHAL
 PROYECTO : PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS SERVIDAS DE AREQUIPA
 UBICACION : CERRO COLORADO / TIABAYA - AREQUIPA - AREQUIPA
 MUESTRA : CAB - 02
 PROCEDENCIA : EMISOR TIABAYA - TIABAYA
 FECHA : 08 DE MAYO DEL 2008 EXPEDIENTE N° : 0658-028-LS-08

DENSIDAD MAXIMA

DESCRIPCION	UNIDAD	MUESTRA
Molde N°		1
Volumen del molde	cm ³	2 111,00
Peso del molde	gr	6 525,00
Peso del molde + muestra compactada	gr	10 273,00
DENSIDAD MAXIMA	gr/cm ³	1,78

DENSIDAD MINIMA

DESCRIPCION	UNIDAD	MUESTRA
Molde N°		1
Volumen del molde	cm ³	2 111,00
Peso del molde	gr	6 525,00
Peso del molde + muestra compactada	gr	9 621,50
DENSIDAD MINIMA	gr/cm ³	1,47

OBSERVACION : La muestra fue proporcionada por el solicitante

UNIVERSIDAD CATOLICA DE SANTA MARIA
PROGRAMA PROFESIONAL DE INGENIERIA CIVIL


 TEC. FELIX E. GUTIERREZ ZAPATA
 Tecnico Laboratorio de Suelos y Concreto

UNIVERSIDAD CATOLICA DE SANTA MARIA
PROGRAMA PROFESIONAL DE INGENIERIA CIVIL


 ING° FERNANDO GARNICA CUBA
 Encargado Laboratorios de Ingenieria Civil



UNIVERSIDAD CATOLICA DE SANTA MARIA
FACULTAD DE ARQUITECTURA E INGENIERIA CIVIL

ING° ALEJANDRO HIDALGO VALDIVIA
Encargado Area Producción, Bienes y Servicios

UNIVERSIDAD CATOLICA DE SANTA MARIA

PROGRAMA PROFESIONAL DE INGENIERIA CIVIL

LABORATORIO DE MECANICA DE SUELOS Y CONCRETO

DENSIDADES MAXIMAS Y MINIMAS (NORMAS ASTM D2049)

SOLICITA : TAHAL
PROYECTO : PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS SERVIDAS DE AREQUIPA
UBICACION : CERRO COLORADO / TIABAYA - AREQUIPA - AREQUIPA

MUESTRA : CB - 1
PROCEDENCIA : PLANTA TIABAYA - TIABAYA
FECHA : 08 DE MAYO DEL 2008

EXPEDIENTE N° : 0658-029-LS-08

DENSIDAD MAXIMA

DESCRIPCION	UNIDAD	MUESTRA
Molde N°		1
Volumen del molde	cm ³	953,90
Peso del molde	gr	3 330,00
Peso del molde + muestra compactada	gr	5 005,10
DENSIDAD MAXIMA	gr/cm³	1,76

DENSIDAD MINIMA

DESCRIPCION	UNIDAD	MUESTRA
Molde N°		1
Volumen del molde	cm ³	953,90
Peso del molde	gr	3 330,00
Peso del molde + muestra compactada	gr	4 665,40
DENSIDAD MINIMA	gr/cm³	1,40

OBSERVACION : La muestra fue proporcionada por el solicitante

UNIVERSIDAD CATOLICA DE SANTA MARIA
PROGRAMA PROFESIONAL DE INGENIERIA CIVIL


TEC. FELIX E. GUTIERREZ ZAPATA
Tecnico Laboratorio de Suelos y Concreto

UNIVERSIDAD CATOLICA DE SANTA MARIA
PROGRAMA PROFESIONAL DE INGENIERIA CIVIL


ING. FERNANDO GARNICA CUBA
Encargado Laboratorios de Ingenieria Civil


UNIVERSIDAD CATOLICA DE SANTA MARIA
FACULTAD DE ARQUITECTURA E INGENIERIA CIVIL
ING. ALEJANDRO HIDALGO VALDIVIA
Encargado Area Producción, Bienes y Servicios



UNIVERSIDAD CATOLICA DE SANTA MARIA
PROGRAMA PROFESIONAL DE INGENIERIA CIVIL
LABORATORIO DE MECANICA DE SUELOS Y CONCRETO

DENSIDADES MAXIMAS Y MINIMAS
(NORMAS ASTM D2049)

SOLICITA : TAHAL

PROYECTO : PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS SERVIDAS DE AREQUIPA

UBICACION : CERRO COLORADO / TIABAYA - AREQUIPA - AREQUIPA

MUESTRA : CB - 2

PROCEDENCIA : PLANTA TIABAYA - TIABAYA

FECHA : 08 DE MAYO DEL 2008

EXPEDIENTE N° : 0658-030-LS-08

DENSIDAD MAXIMA

DESCRIPCION	UNIDAD	MUESTRA
Molde N°		1
Volumen del molde	cm ³	953,90
Peso del molde	gr	3 330,00
Peso del molde + muestra compactada	gr	4 646,40
DENSIDAD MAXIMA	gr/cm³	1,38

DENSIDAD MINIMA

DESCRIPCION	UNIDAD	MUESTRA
Molde N°		1
Volumen del molde	cm ³	953,90
Peso del molde	gr	3 330,00
Peso del molde + muestra compactada	gr	4 407,80
DENSIDAD MINIMA	gr/cm³	1,13

OBSERVACION : La muestra fue proporcionada por el solicitante

UNIVERSIDAD CATOLICA DE SANTA MARIA
PROGRAMA PROFESIONAL DE INGENIERIA CIVIL


TEC. FELIX E. GUTIERREZ ZAPATA
Tecnico Laboratorio de Suelos y Concreto

UNIVERSIDAD CATOLICA DE SANTA MARIA
PROGRAMA PROFESIONAL DE INGENIERIA CIVIL


ING° FERNANDO GARNICA CUBA
Encargado Laboratorios de Ingenieria Civil

UNIVERSIDAD CATOLICA DE SANTA MARIA
FACULTAD DE ARQUITECTURA E INGENIERIA CIVIL



ING° ALEJANDRO HIDALGO VALDIVIA
Encargado Area Producción, Bienes y Servicios



AREQUIPA - PERU

UNIVERSIDAD CATOLICA DE SANTA MARIA

PROGRAMA PROFESIONAL DE INGENIERIA CIVIL

LABORATORIO DE MECANICA DE SUELOS Y CONCRETO

DENSIDADES MAXIMAS Y MINIMAS (NORMAS ASTM D2049)

SOLICITA : TAHAL
 PROYECTO : PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS SERVIDAS DE AREQUIPA
 UBICACION : CERRO COLORADO / TIABAYA - AREQUIPA - AREQUIPA

MUESTRA : CE - 01
 PROCEDENCIA : PLANTA ESCALERILLAS - CERRO COLORADO
 FECHA : 07 DE MAYO DEL 2008

EXPEDIENTE N° : 0658-024-LS-08

DENSIDAD MAXIMA

DESCRIPCION	UNIDAD	MUESTRA
Molde N°		1
Volumen del molde	cm ³	953,90
Peso del molde	gr	3 330,00
Peso del molde + muestra compactada	gr	4 608,70
DENSIDAD MAXIMA	gr/cm³	1,34

DENSIDAD MINIMA

DESCRIPCION	UNIDAD	MUESTRA
Molde N°		1
Volumen del molde	cm ³	953,90
Peso del molde	gr	3 330,00
Peso del molde + muestra compactada	gr	4 296,80
DENSIDAD MINIMA	gr/cm³	1,01

OBSERVACION : La muestra fue proporcionada por el solicitante

UNIVERSIDAD CATOLICA DE SANTA MARIA
 PROGRAMA PROFESIONAL DE INGENIERIA CIVIL


 TEC. FELIX E. GUTIERREZ ZAPATA
 Tecnico Laboratorio de Concreto y E.M.C.

UNIVERSIDAD CATOLICA DE SANTA MARIA
 PROGRAMA PROFESIONAL DE INGENIERIA CIVIL


 ING° FERNANDO GARNICA CUBA
 Encargado Laboratorios de Ingeniería Civil



UNIVERSIDAD CATOLICA DE SANTA MARIA
 FACULTAD DE ARQUITECTURA E INGENIERIA CIVIL

ING° ALEJANDRO HIDALGO VALDIVIA
 Encargado Area Producción, Bienes y Servicios

UNIVERSIDAD CATOLICA DE SANTA MARIA

PROGRAMA PROFESIONAL DE INGENIERIA CIVIL

LABORATORIO DE MECANICA DE SUELOS Y CONCRETO

DENSIDADES MAXIMAS Y MINIMAS (NORMAS ASTM D2049)

SOLICITA : TAHAL
 PROYECTO : PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS SERVIDAS DE AREQUIPA
 UBICACION : CERRO COLORADO / TIABAYA - AREQUIPA - AREQUIPA
 MUESTRA : CE - 04
 PROCEDENCIA : PLANTA ESCALERILLAS - CERRO COLORADO
 FECHA : 07 DE MAYO DEL 2008 EXPEDIENTE N° : 0658-025-LS-08

DENSIDAD MAXIMA

DESCRIPCION	UNIDAD	MUESTRA
Molde N°		1
Volumen del molde	cm ³	953,90
Peso del molde	gr	3 330,00
Peso del molde + muestra compactada	gr	4 898,20
DENSIDAD MAXIMA	gr/cm³	1,64

DENSIDAD MINIMA

DESCRIPCION	UNIDAD	MUESTRA
Molde N°		1
Volumen del molde	cm ³	953,90
Peso del molde	gr	3 330,00
Peso del molde + muestra compactada	gr	4 650,10
DENSIDAD MINIMA	gr/cm³	1,38


OBSERVACION : La muestra fue proporcionada por el solicitante

UNIVERSIDAD CATOLICA DE SANTA MARIA
PROGRAMA PROFESIONAL DE INGENIERIA CIVIL


 TEC. FELIX E. GUTIERREZ ZAPATA
 Tecnico Laboratorio de Concreto y E.M.C.

UNIVERSIDAD CATOLICA DE SANTA MARIA
PROGRAMA PROFESIONAL DE INGENIERIA CIVIL




 ING° FERNANDO GARNICA CUBA
 Encargado Laboratorios de Ingeniería Civil



UNIVERSIDAD CATOLICA DE SANTA MARIA
FACULTAD DE ARQUITECTURA E INGENIERIA CIVIL

ING° ALEJANDRO HIDALGO VALDIVIA
 Encargado Área Producción, Bienes y Servicios



AREQUIPA - PERU

UNIVERSIDAD CATOLICA DE SANTA MARIA

PROGRAMA PROFESIONAL DE INGENIERIA CIVIL

LABORATORIO DE MECANICA DE SUELOS Y CONCRETO

ENSAYO CORTE DIRECTO

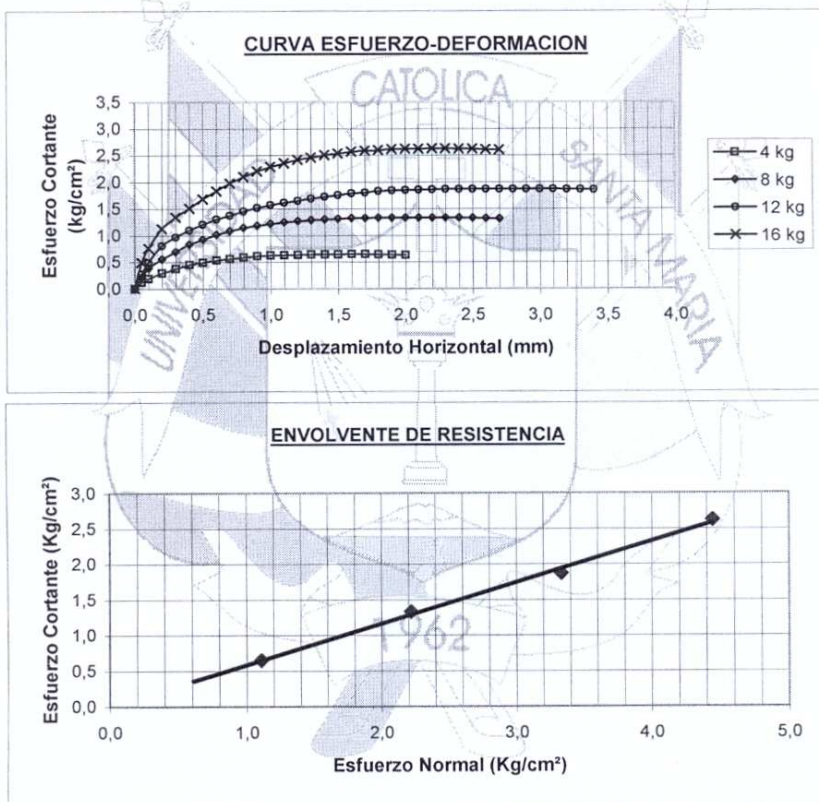
(NORMA ASTM D-3080)

(N.T.P. 339.171)

SOLICITA : TAHAL
PROYECTO : PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS SERVIDAS DE AREQUIPA
UBICACIÓN : CERRO COLORADO / TIABAYA - AREQUIPA - AREQUIPA

MUESTRA : CB - 6
PROCEDENCIA : PLANTA TIABAYA - TIABAYA
FECHA : 14 DE MAYO DEL 2008

EXPEDIENTE N° : 0658-037-LS-08



kg	4	8	12	16
σ kg/cm ²	1,11	2,22	3,33	4,44
τ kg/cm ²	0,646	1,331	1,867	2,620

Ángulo de Rozamiento Interno (ϕ)	30,2 °
Cohesión Efectiva (c)	0,0 kg/cm ²
Humedad	7,4 %

OBSERVACIONES : - La prueba se efectuó con la muestra alterada
- La muestra fue proporcionada por el solicitante

UNIVERSIDAD CATOLICA DE SANTA MARIA
PROGRAMA PROFESIONAL DE INGENIERIA CIVIL

Felix Gutierrez Zapata
TEC. FELIX GUTIERREZ ZAPATA
Tecnico Laboratorio de Suelos y Concreto



UNIVERSIDAD CATOLICA DE SANTA MARIA
FACULTAD DE ARQUITECTURA E INGENIERIA CIVIL

ING. ALEJANDRO HIDALGO VALDIVIA
Encargado Área Producción, Bienes y Servicios

UNIVERSIDAD CATOLICA DE SANTA MARIA
PROGRAMA PROFESIONAL DE INGENIERIA CIVIL



Fernando Garnica Cuba
ING. FERNANDO GARNICA CUBA
Encargado Laboratorios de Ingeniería Civil

UNIVERSIDAD CATOLICA DE SANTA MARIA

PROGRAMA PROFESIONAL DE INGENIERIA CIVIL

LABORATORIO DE MECANICA DE SUELOS Y CONCRETO

ENSAYO CORTE DIRECTO

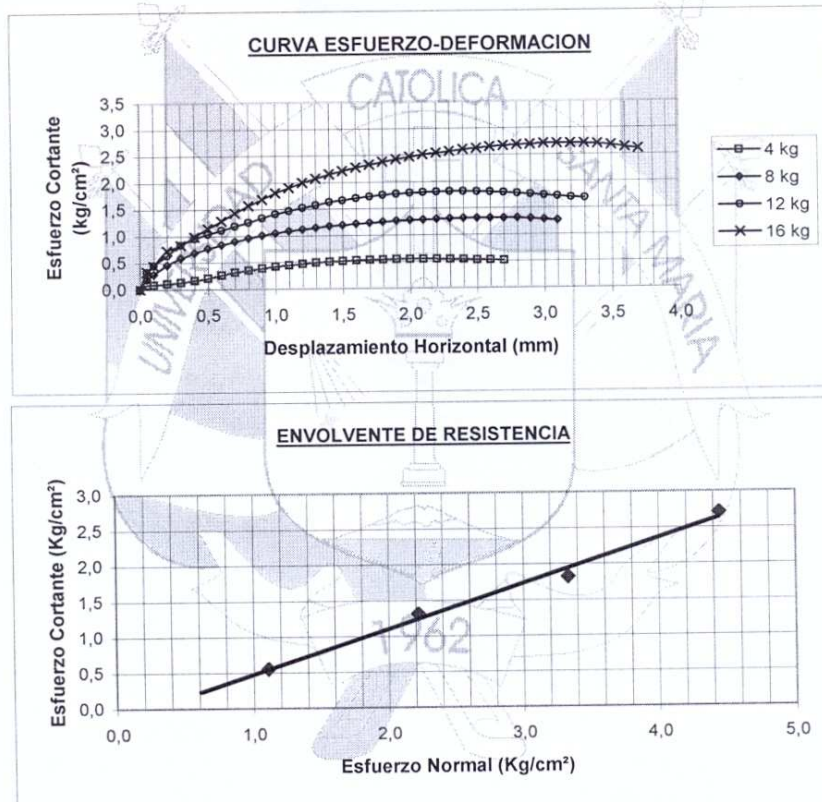
(NORMA ASTM D-3080)

(N.T.P. 339.171)

SOLICITA : TAHAL
 PROYECTO : PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS SERVIDAS DE AREQUIPA
 UBICACIÓN : CERRO COLORADO / TIABAYA - AREQUIPA - AREQUIPA

MUESTRA : CAB - 01
 PROCEDENCIA : EMISOR TIABAYA - TIABAYA
 FECHA : 13 DE MAYO DEL 2008

EXPEDIENTE N° : 0658-036-LS-08



kg	4	8	12	16
σ kg/cm ²	1,11	2,22	3,33	4,44
τ kg/cm ²	0,544	1,306	1,814	2,704

Ángulo de Rozamiento Interno (ϕ)	32,2 °
Cohesión Efectiva (c)	0,0 kg/cm ²
Humedad	8,5 %

OBSERVACIONES : - La prueba se efectuó con la muestra alterada
 - La muestra fue proporcionada por el solicitante

UNIVERSIDAD CATOLICA DE SANTA MARIA
 PROGRAMA PROFESIONAL DE INGENIERIA CIVIL

Felix Gutierrez Zapata
 TEC. FELIX GUTIERREZ ZAPATA
 Tecnico Laboratorio de Suelos y Concreto



UNIVERSIDAD CATOLICA DE SANTA MARIA
 FACULTAD DE ARQUITECTURA E INGENIERIA CIVIL

ING° ALEJANDRO HIDALGO VALDIVIA
 Encargado Área Producción, Bienes y Servicios

UNIVERSIDAD CATOLICA DE SANTA MARIA
 PROGRAMA PROFESIONAL DE INGENIERIA CIVIL
 LABORATORIO SUELOS Y CONCRETO
Fernando Garnica Cuba
 B. ING° FERNANDO GARNICA CUBA
 Encargado Laboratorios de Ingeniería Civil

UNIVERSIDAD CATOLICA DE SANTA MARIA

PROGRAMA PROFESIONAL DE INGENIERIA CIVIL

LABORATORIO DE MECANICA DE SUELOS Y CONCRETO

ENSAYO CORTE DIRECTO

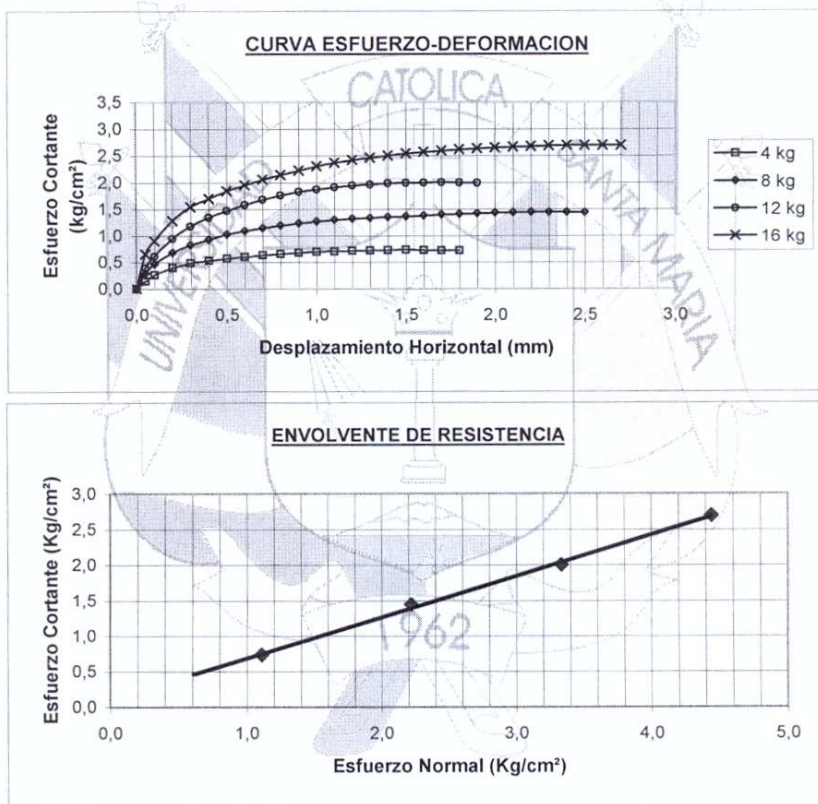
(NORMA ASTM D-3080)

(N.T.P. 339.171)

SOLICITA : TAHAL
 PROYECTO : PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS SERVIDAS DE AREQUIPA
 UBICACIÓN : CERRO COLORADO / TIABAYA - AREQUIPA - AREQUIPA

MUESTRA : CE - 01
 PROCEDENCIA : PLANTA ESCALERILLAS - CERRO COLORADO
 FECHA : 12 DE MAYO DEL 2008

EXPEDIENTE N° : 0658-034-LS-08



kg	4	8	12	16
σ kg/cm ²	1,11	2,22	3,33	4,44
τ kg/cm ²	0,731	1,442	2,001	2,692

Ángulo de Rozamiento Interno (ϕ)	30,1 °
Cohesión Efectiva (c)	0,0 kg/cm ²
Humedad	2,9 %

OBSERVACIONES : - La prueba se efectuó con la muestra alterada
 - La muestra fue proporcionada por el solicitante

UNIVERSIDAD CATOLICA DE SANTA MARIA
 PROGRAMA PROFESIONAL DE INGENIERIA CIVIL


 TEC. FELIX GUTIERREZ ZAPATA
 Tecnico Laboratorio de Suelos y Concreto



UNIVERSIDAD CATOLICA DE SANTA MARIA
 FACULTAD DE ARQUITECTURA E INGENIERIA CIVIL

ING° ALEJANDRO HIDALGO VALDIVIA
 Encargado Área Producción, Bienes y Servicios

UNIVERSIDAD CATOLICA DE SANTA MARIA
 PROGRAMA PROFESIONAL DE INGENIERIA CIVIL

 LABORATORIO SUELOS Y CONCRETO
 AREQUIPA
 ING° FERNANDO GARNICA CUBA
 Encargado Laboratorios de Ingeniería Civil

UNIVERSIDAD CATOLICA DE SANTA MARIA

PROGRAMA PROFESIONAL DE INGENIERIA CIVIL

LABORATORIO DE MECANICA DE SUELOS Y CONCRETO

ENSAYO CORTE DIRECTO

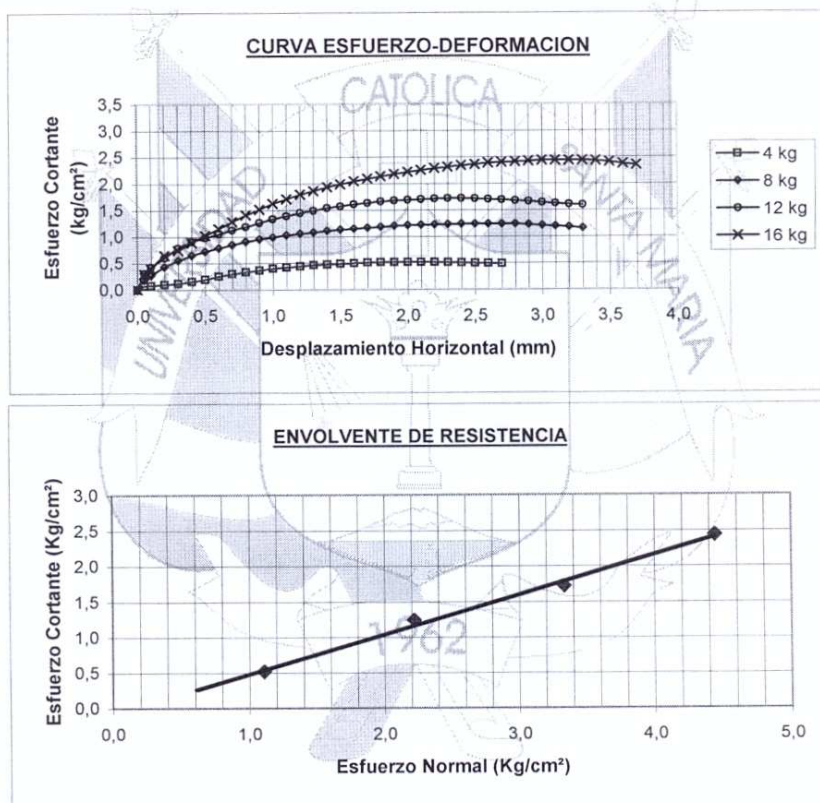
(NORMA ASTM D-3080)

(N.T.P. 339.171)

SOLICITA : TAHAL
 PROYECTO : PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS SERVIDAS DE AREQUIPA
 UBICACIÓN : CERRO COLORADO / TIABAYA - AREQUIPA - AREQUIPA

MUESTRA : CE - 04
 PROCEDENCIA : PLANTA ESCALERILLAS - CERRO COLORADO
 FECHA : 13 DE MAYO DEL 2008

EXPEDIENTE N° : 0658-035-LS-08




kg	4	8	12	16
σ kg/cm²	1,11	2,22	3,33	4,44
τ kg/cm²	0,515	1,238	1,719	2,434

Ángulo de Rozamiento Interno (ϕ)	29,3 °
Cohesión Efectiva (c)	0,0 kg/cm²
Humedad	2,1 %

OBSERVACIONES : - La prueba se efectuó con la muestra alterada
 - La muestra fue proporcionada por el solicitante

UNIVERSIDAD CATOLICA DE SANTA MARIA
 PROGRAMA PROFESIONAL DE INGENIERIA CIVIL


 TEC. FELIX GUTIERREZ ZAPATA
 Tecnico Laboratorio de Suelos y Concreto



UNIVERSIDAD CATOLICA DE SANTA MARIA
 FACULTAD DE ARQUITECTURA E INGENIERIA CIVIL

ING° ALEJANDRO HIDALGO VALDIVIA
 Encargado Area Producción, Bienes y Servicios

UNIVERSIDAD CATOLICA DE SANTA MARIA
 PROGRAMA PROFESIONAL DE INGENIERIA CIVIL
 LABORATORIO SUELOS Y CONCRETO

 ING° FERNANDO GARNICA CUBA
 Encargado Laboratorios de Ingeniería Civil



AREQUIPA - PERU

UNIVERSIDAD CATOLICA DE SANTA MARIA

PROGRAMA PROFESIONAL DE INGENIERIA CIVIL

LABORATORIO DE MECANICA DE SUELOS Y CONCRETO

ENSAYO CORTE DIRECTO

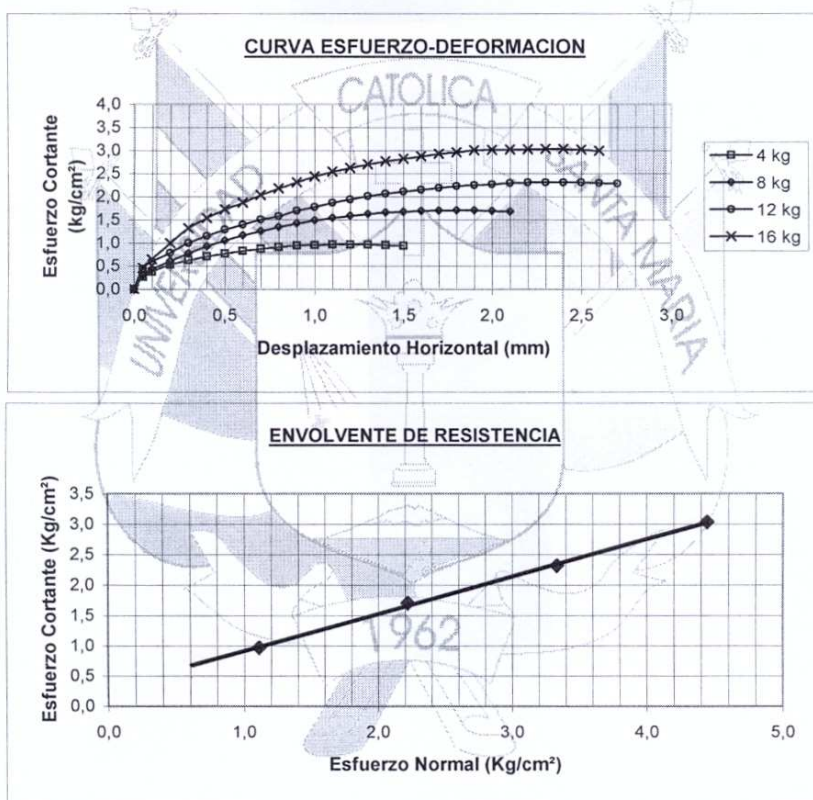
(NORMA ASTM D-3080)

(N.T.P. 339.171)

SOLICITA : TAHAL
PROYECTO : PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS SERVIDAS DE AREQUIPA
UBICACIÓN : CERRO COLORADO / TIABAYA - AREQUIPA - AREQUIPA

MUESTRA : CE - 06
PROCEDENCIA : PLANTA ESCALERILLAS - CERRO COLORADO
FECHA : 14 DE MAYO DEL 2008

EXPEDIENTE N° : 0658-038-LS-08



kg	4	8	12	16
σ kg/cm ²	1,11	2,22	3,33	4,44
τ kg/cm ²	0,965	1,702	2,313	3,030

Ángulo de Rozamiento Interno (ϕ)	31,5 °
Cohesión Efectiva (c)	0,0 kg/cm ²
Humedad	3,6 %

OBSERVACIONES : - La prueba se efectuó con la muestra alterada
- La muestra fue proporcionada por el solicitante

UNIVERSIDAD CATOLICA DE SANTA MARIA
PROGRAMA PROFESIONAL DE INGENIERIA CIVIL

Felipe Zapata
TEC. FELIX GUTIERREZ ZAPATA
Tecnico Laboratorio de Suelos y Concreto



UNIVERSIDAD CATOLICA DE SANTA MARIA
FACULTAD DE ARQUITECTURA E INGENIERIA CIVIL

ING° ALEJANDRO HIDALGO VALDIVIA
Encargado Área Producción, Bienes y Servicios



UNIVERSIDAD CATOLICA DE SANTA MARIA
PROGRAMA PROFESIONAL DE INGENIERIA CIVIL

ING° FERNANDO GARNICA CUBA
Encargado Laboratorios de Ingeniería Civil



UNIVERSIDAD CATOLICA DE SANTA MARIA

PROGRAMA PROFESIONAL DE INGENIERIA CIVIL

LABORATORIO DE MECANICA DE SUELOS Y CONCRETO

PRUEBA DE COMPACTACION

PROCTOR ESTÁNDAR (METODO A)

(NORMA ASTM D-698)
(N.T.P. 339-142)

SOLICITA : TAHAL
OBRA : PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS SERVIDAS DE AREQUIPA
UBICACIÓN : CERRO COLORADO / TIABAYA - AREQUIPA - AREQUIPA

MUESTRA : CB-06
PROCEDENCIA : PLANTA SITIO B - TIABAYA
FECHA : 26 DE ABRIL DEL 2008

EXPEDIENTE N° : 0658-008-LS-08

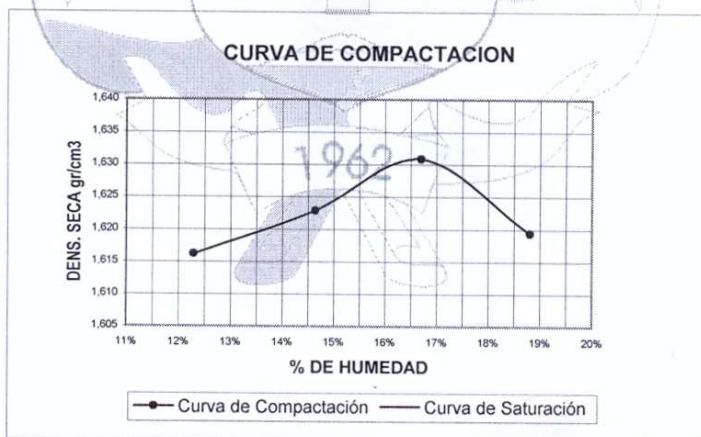
MOLDE 4"

PESO DEL MOLDE (g)	2043,4
VOLUMEN DEL MOLDE (cm ³)	938,6

METODO "A"

N° DE CAPAS	3
N° GOLPES x CAPA	25

PESO SUELO HUMEDO + MOLDE	3746,8	3789,7	3829,7	3849,3
PESO DEL MOLDE	2043,4	2043,4	2043,4	2043,4
PESO SUELO HUMEDO	1703,4	1746,3	1786,3	1805,9
DENSIDAD SUELO HUMEDO	1,815	1,861	1,903	1,924
DEPOSITO N°	1	2	3	4
PESO SUELO HUMEDO + DEPOSITO	1135,0	1258,8	1355,3	1581,4
PESO SUELO SECO + DEPOSITO	1062,4	1157,0	1219,2	1400,5
PESO DEL AGUA	72,6	101,8	136,1	180,9
PESO DEL DEPOSITO	471,8	461,9	404,1	438,8
PESO DEL SUELO SECO	590,6	695,1	815,1	961,7
% DE HUMEDAD	12,29%	14,65%	16,70%	18,81%
DENSIDAD DEL SUELO SECO	1,616	1,623	1,631	1,619



DENSIDAD SECA MAXIMA	1,631 gr/cm³
HUMEDAD OPTIMA	16,7 %

OBSERVACIONES : La muestra fue proporcionada por el solicitante

UNIVERSIDAD CATOLICA DE SANTA MARIA
PROGRAMA PROFESIONAL DE INGENIERIA CIVIL

TEC. FELIX GUTIERREZ ZAPATA
Tecnico Laboratorio de Concreto y E.M.C.



UNIVERSIDAD CATOLICA DE SANTA MARIA
PROGRAMA PROFESIONAL DE INGENIERIA CIVIL

ING. FERNANDO GARNICA CUBA
Encargado Laboratorios de Ingeniería Civil



UNIVERSIDAD CATOLICA DE SANTA MARIA
FACULTAD DE ARQUITECTURA E INGENIERIA CIVIL

ING. ALEJANDRO HIDALGO VALDIVIA
Encargado Área Producción, Bienes y Servicios

UNIVERSIDAD CATOLICA DE SANTA MARIA

PROGRAMA PROFESIONAL DE INGENIERIA CIVIL

LABORATORIO DE MECANICA DE SUELOS Y CONCRETO

PRUEBA DE COMPACTACION PROCTOR ESTÁNDAR (METODO A)

(NORMA ASTM D-698)
(N.T.P. 339-142)

SOLICITA : TAHAL
OBRA : PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS SERVIDAS DE AREQUIPA
UBICACIÓN : CERRO COLORADO / TIABAYA - AREQUIPA - AREQUIPA

MUESTRA : CE-01
PROCEDENCIA : PLANTA ESCALERILLA - CERRO COLORADO
FECHA : 23 DE ABRIL DEL 2008

EXPEDIENTE N° : 0658-005-LS-08

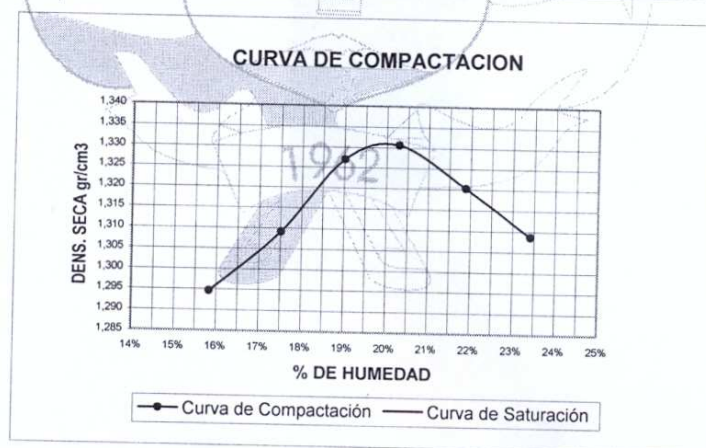
MOLDE 4"

PESO DEL MOLDE (g)	2043,4
VOLUMEN DEL MOLDE (cm ³)	938,6

METODO "A"

N° DE CAPAS	3
N° GOLPES x CAPA	25

PESO SUELO HUMEDO + MOLDE	3450,9	3487,5	3525,8	3545,8	3553,8	3559,4
PESO DEL MOLDE	2043,4	2043,4	2043,4	2043,4	2043,4	2043,4
PESO SUELO HUMEDO	1407,5	1444,1	1482,4	1502,4	1510,4	1516,0
DENSIDAD SUELO HUMEDO	1,500	1,539	1,579	1,601	1,609	1,615
DEPOSITO N°	6	7	8	9	10	11
PESO SUELO HUMEDO + DEPOSITO	1842,6	1762,6	1828,9	1753,4	1962,5	1945,6
PESO SUELO SECO + DEPOSITO	1650,5	1551,5	1594,1	1534,5	1693,0	1659,6
PESO DEL AGUA	192,1	211,1	234,8	218,9	269,5	286,0
PESO DEL DEPOSITO	437,5	347,0	359,6	456,1	461,7	438,5
PESO DEL SUELO SECO	1213,0	1204,5	1234,5	1078,4	1231,3	1221,1
% DE HUMEDAD	15,84%	17,53%	19,02%	20,30%	21,89%	23,42%
DENSIDAD DEL SUELO SECO	1,295	1,309	1,327	1,331	1,320	1,309



DENSIDAD SECA MAXIMA	1,332 gr/cm ³
HUMEDAD OPTIMA	19,9 %

OBSERVACIONES : La muestra fue proporcionada por el solicitante

UNIVERSIDAD CATOLICA DE SANTA MARIA
PROGRAMA PROFESIONAL DE INGENIERIA CIVIL

Eduardo
TEC. FELIX GUTIERREZ ZAPATA
Tecnico Laboratorio de Concreto y E.M.C.



UNIVERSIDAD CATOLICA DE SANTA MARIA
FACULTAD DE ARQUITECTURA E INGENIERIA CIVIL

ING. ALEJANDRO HIDALGO VALDIVIA
Ejecutado Área Producción, Bienes y Servicios

UNIVERSIDAD CATOLICA DE SANTA MARIA
PROGRAMA PROFESIONAL DE INGENIERIA CIVIL



ING. FERNANDO GARNICA CUBA
Ejecutado Laboratorios de Ingeniería Civil



AREQUIPA - PERU

UNIVERSIDAD CATOLICA DE SANTA MARIA

PROGRAMA PROFESIONAL DE INGENIERIA CIVIL

LABORATORIO DE MECANICA DE SUELOS Y CONCRETO

PRUEBA DE COMPACTACION PROCTOR ESTÁNDAR (METODO A)

(NORMA ASTM D-698)
(N.T.P. 339-142)

SOLICITA : TAHAL
OBRA : PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS SERVIDAS DE AREQUIPA
UBICACIÓN : CERRO COLORADO / TIABAYA - AREQUIPA - AREQUIPA

MUESTRA : CEE-01
PROCEDENCIA : EMISOR ESCALERILLA - CERRO COLORADO
FECHA : 05 DE MAYO DEL 2008

EXPEDIENTE N° : 0658-018-LS-08

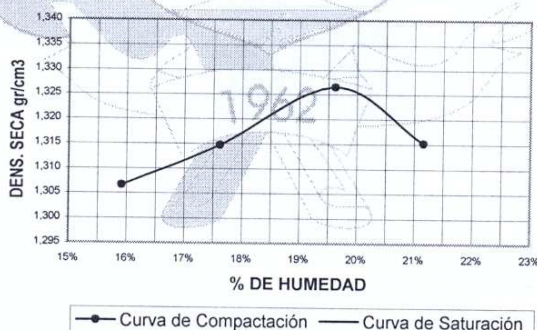
MOLDE 4"

PESO DEL MOLDE (g)	2043,4
VOLUMEN DEL MOLDE (cm ³)	938,6

METODO "A"

N° DE CAPAS	3
N° GOLPES x CAPA	25

PESO SUELO HUMEDO + MOLDE	3465,0	3494,8	3532,8	3539,0
PESO DEL MOLDE	2043,4	2043,4	2043,4	2043,4
PESO SUELO HUMEDO	1421,6	1451,4	1489,4	1495,6
DENSIDAD SUELO HUMEDO	1,515	1,546	1,587	1,593
DEPOSITO N°	12	13	14	15
PESO SUELO HUMEDO + DEPOSITO	1846,2	1915,4	1701,7	1962,5
PESO SUELO SECO + DEPOSITO	1649,3	1680,0	1495,5	1700,0
PESO DEL AGUA	196,9	235,4	206,2	262,5
PESO DEL DEPOSITO	412,4	344,1	444,8	459,4
PESO DEL SUELO SECO	1236,9	1335,9	1050,7	1240,6
% DE HUMEDAD	15,92%	17,62%	19,63%	21,16%
DENSIDAD DEL SUELO SECO	1,307	1,315	1,327	1,315

CURVA DE COMPACTACION

DENSIDAD SECA MAXIMA	1,327 g/cm³
HUMEDAD OPTIMA	19,84 %

OBSERVACIONES : La muestra fue proporcionada por el solicitante

UNIVERSIDAD CATOLICA DE SANTA MARIA
PROGRAMA PROFESIONAL DE INGENIERIA CIVIL

Felix Gutierrez Zapata
TEC. FELIX GUTIERREZ ZAPATA
Tecnico Laboratorio de Concreto y E.M.C.



UNIVERSIDAD CATOLICA DE SANTA MARIA
PROGRAMA PROFESIONAL DE INGENIERIA CIVIL

B. INE FERNANDO GARNICA CUBA
Encargado Laboratorios de Ingeniería Civil



UNIVERSIDAD CATOLICA DE SANTA MARIA
FACULTAD DE ARQUITECTURA E INGENIERIA CIVIL

ING° ALEJANDRO HIDALGO VALDIVIA
Encargado Área Producción, Bienes y Servicios

UNIVERSIDAD CATOLICA DE SANTA MARIA

PROGRAMA PROFESIONAL DE INGENIERIA CIVIL

LABORATORIO DE MECANICA DE SUELOS Y CONCRETO

ENSAYO DE DENSIDAD DE CAMPO - METODO DEL CONO DE ARENA 6" (NORMA ASTM D-1556)

SOLICITA : TAHAL GROUP EXPEDIENTE N° : 0658-002-LS-08
 PROYECTO : PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS SERVIDAS DE AREQUIPA
 UBICACION : CERRO COLORADO / TIABAYA - AREQUIPA - AREQUIPA

MUESTRA : CB-1
 PROFUNDIDAD : 5,00 m
 PROCEDENCIA : CALICATA CB-1
 PLANTA SITIO B - TIABAYA

FECHA : 19 DE ABRIL DEL 2008

Cálculo del Volumen de la Muestra

Peso frasco + arena antes de empezar la prueba	(gr)	5 462,50
Peso frasco + arena despues de llenado el hoyo	(gr)	1 368,50
Peso de la arena empleada para llenar el hoyo + cono	(gr)	4 094,00
Peso de la arena en el cono	(gr)	1 746,96
Peso de la arena empleada para llenar el hoyo	(gr)	2 347,04
Densidad de la arena	(gr/cm ³)	1,54
Volumen del hoyo = Volumen de la muestra	(cm ³)	1 524,05

Densidad de la muestra húmeda

Peso de la muestra húmeda	(gr)	2 686,90
Densidad de la muestra húmeda	(gr/cm ³)	1,76

Densidad de la muestra seca

% de humedad	(%)	14,00
Densidad de la muestra seca	(gr/cm ³)	1,55

OBSERVACION : El ensayo fue realizado por personal del Laboratorio en la ubicación indicada por el solicitante.

UNIVERSIDAD CATOLICA DE SANTA MARIA
PROGRAMA PROFESIONAL DE INGENIERIA CIVIL


TEC. FELIX GUTIERREZ ZAPATA
Tecnico Laboratorio de Concreto y E.M.C.

UNIVERSIDAD CATOLICA DE SANTA MARIA
PROGRAMA PROFESIONAL DE INGENIERIA CIVIL




ING° FERNANDO GARNICA CUBA
Encargado Laboratorios de Ingeniería Civil



UNIVERSIDAD CATOLICA DE SANTA MARIA
FACULTAD DE ARQUITECTURA E INGENIERIA CIVIL


ING° ALEJANDRO HIDALGO VALDIVIA
Encargado Área Producción, Bienes y Servicios



AREQUIPA - PERU

UNIVERSIDAD CATOLICA DE SANTA MARIA

PROGRAMA PROFESIONAL DE INGENIERIA CIVIL

LABORATORIO DE MECANICA DE SUELOS Y CONCRETO

ENSAYO DE DENSIDAD DE CAMPO - METODO DEL CONO DE ARENA 6" (NORMA ASTM D-1556)

SOLICITA : TAHAL GROUP EXPEDIENTE N° : 0658-003-LS-08
 PROYECTO : PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS SERVIDAS DE AREQUIPA
 UBICACION : CERRO COLORADO / TIABAYA - AREQUIPA - AREQUIPA

MUESTRA : CB-6
 PROFUNDIDAD : 5,00 m
 PROCEDENCIA : CALICATA CB-6
 PLANTA SITIO B - TIABAYA

FECHA : 19 DE ABRIL DEL 2008

Cálculo del Volumen de la Muestra

Peso frasco + arena antes de empezar la prueba	(gr)	5 582,20
Peso frasco + arena despues de llenado el hoyo	(gr)	1 704,50
Peso de la arena empleada para llenar el hoyo + cono	(gr)	3 877,70
Peso de la arena en el cono	(gr)	1 746,96
Peso de la arena empleada para llenar el hoyo	(gr)	2 130,74
Densidad de la arena	(gr/cm ³)	1,54
Volumen del hoyo = Volumen de la muestra	(cm ³)	1 383,60

Densidad de la muestra húmeda

Peso de la muestra húmeda	(gr)	2 782,20
Densidad de la muestra húmeda	(gr/cm ³)	2,01

Densidad de la muestra seca

% de humedad	(%)	12,70
Densidad de la muestra seca	(gr/cm ³)	1,78

OBSERVACION : El ensayo fue realizado por personal del Laboratorio en la ubicación indicada por el solicitante.

UNIVERSIDAD CATOLICA DE SANTA MARIA
PROGRAMA PROFESIONAL DE INGENIERIA CIVIL

TEC. FELIX GUTIERREZ ZAPATA
Tecnico Laboratorio de Concreto y E.M.C.



UNIVERSIDAD CATOLICA DE SANTA MARIA
PROGRAMA PROFESIONAL DE INGENIERIA CIVIL

ING° FERNANDO GARNICA CUBA
Encargado Laboratorios de Ingeniería Civil



UNIVERSIDAD CATOLICA DE SANTA MARIA
FACULTAD DE ARQUITECTURA E INGENIERIA CIVIL

ING° ALEJANDRO HIDALGO VALDIVIA
Encargado Área Producción, Bienes y Servicios

UNIVERSIDAD CATOLICA DE SANTA MARIA

PROGRAMA PROFESIONAL DE INGENIERIA CIVIL

LABORATORIO DE MECANICA DE SUELOS Y CONCRETO

ENSAYO DE DENSIDAD DE CAMPO - METODO DEL CONO DE ARENA 6" (NORMA ASTM D-1556)

SOLICITA : TAHAL GROUP
PROYECTO : PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS SERVIDAS DE AREQUIPA
UBICACION : CERRO COLORADO / TIABAYA - AREQUIPA - AREQUIPA
EXPEDIENTE N° : 0658-004-LS-08

MUESTRA : CAB-2
PROFUNDIDAD : 3,00 m
PROCEDENCIA : CALICATA CAB-2
PLANTA SITIO B - TIABAYA

FECHA : 20 DE ABRIL DEL 2008

Cálculo del Volumen de la Muestra

Peso frasco + arena antes de empezar la prueba	(gr)	5 534,00
Peso frasco + arena después de llenado el hoyo	(gr)	1 520,80
Peso de la arena empleada para llenar el hoyo + cono	(gr)	4 013,20
Peso de la arena en el cono	(gr)	1 746,96
Peso de la arena empleada para llenar el hoyo	(gr)	2 266,24
Densidad de la arena	(gr/cm ³)	1,54
Volumen del hoyo = Volumen de la muestra	(cm ³)	1 471,58

Densidad de la muestra húmeda

Peso de la muestra húmeda	(gr)	2 429,90
Densidad de la muestra húmeda	(gr/cm ³)	1,65

Densidad de la muestra seca

% de humedad	(%)	9,10
Densidad de la muestra seca	(gr/cm ³)	1,51


OBSERVACION : El ensayo fue realizado por personal del Laboratorio en la ubicación indicada por el solicitante.

UNIVERSIDAD CATOLICA DE SANTA MARIA
PROGRAMA PROFESIONAL DE INGENIERIA CIVIL


TEC. FELIX GUTIERREZ ZAPATA
Técnico Laboratorio de Concreto y E.M.C.




UNIVERSIDAD CATOLICA DE SANTA MARIA
PROGRAMA PROFESIONAL DE INGENIERIA CIVIL


B. ING. FERNANDO GARNICA CUBA
Encargado Laboratorios de Ingeniería Civil



UNIVERSIDAD CATOLICA DE SANTA MARIA
FACULTAD DE ARQUITECTURA E INGENIERIA CIVIL


ING. ALEJANDRO HIDALGO VALDIVIA
Encargado Área Producción, Bienes y Servicios

UNIVERSIDAD CATOLICA DE SANTA MARIA

PROGRAMA PROFESIONAL DE INGENIERIA CIVIL

LABORATORIO DE MECANICA DE SUELOS Y CONCRETO

ENSAYO DE DENSIDAD DE CAMPO - METODO DEL CONO DE ARENA 6"

(NORMA ASTM D-1556)

SOLICITA : TAHAL GROUP EXPEDIENTE N° : 0658-001-LS-08
 PROYECTO : PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS SERVIDAS DE AREQUIPA
 UBICACION : CERRO COLORADO / TIABAYA - AREQUIPA - AREQUIPA

MUESTRA : CE-5
 PROFUNDIDAD : 5,00 m
 PROCEDENCIA : CALICATA CE-5
 PLANTA ESCALERILLA - CERRO COLORADO

FECHA : 16 DE ABRIL DEL 2008

Cálculo del Volumen de la Muestra

Peso frasco + arena antes de empezar la prueba	(gr)	5 634,00
Peso frasco + arena despues de llenado el hoyo	(gr)	1 660,80
Peso de la arena empleada para llenar el hoyo + cono	(gr)	3 973,20
Peso de la arena en el cono	(gr)	1 746,96
Peso de la arena empleada para llenar el hoyo	(gr)	2 226,24
Densidad de la arena	(gr/cm ³)	1,54
Volumen del hoyo = Volumen de la muestra	(cm ³)	1 445,61

Densidad de la muestra húmeda

Peso de la muestra húmeda	(gr)	1 809,60
Densidad de la muestra húmeda	(gr/cm ³)	1,25

Densidad de la muestra seca

% de humedad	(%)	1,39
Densidad de la muestra seca	(gr/cm ³)	1,23


OBSERVACION : El ensayo fue realizado por personal del Laboratorio en la ubicación indicada por el solicitante.

UNIVERSIDAD CATOLICA DE SANTA MARIA
 PROGRAMA PROFESIONAL DE INGENIERIA CIVIL


 TEC. FELIX GUTIERREZ ZAPATA
 Tecnico Laboratorio de Concreto y E.M.C.


UNIVERSIDAD CATOLICA DE SANTA MARIA
 PROGRAMA PROFESIONAL DE INGENIERIA CIVIL




 ING. FERNANDO GARNICA CUBA
 Encargado Laboratorios de Ingeniería Civil



UNIVERSIDAD CATOLICA DE SANTA MARIA
 FACULTAD DE ARQUITECTURA E INGENIERIA CIVIL


 ING. ALEJANDRO HIDALGO VALDIVIA
 Encargado Area Producción, Bienes y Servicios



Urb. San José s/n.
Umacollo
Arequipa
Perú
Teléfono
+5154 251210
Anexo 1166
Telefax
251144

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA
FACULTAD DE CIENCIAS FARMACÉUTICAS,
BIOQUÍMICAS Y BIOTECNOLÓGICAS
LABORATORIO DE CONTROL DE CALIDAD



INFORME DE ANALISIS FISICO QUIMICO

N° DE REPORTE: LPM-01010-2008

NOMBRE DEL CLIENTE : TAHAL
DIRECCION :
ASUNTO : ANALISIS FISICO QUIMICO
PRODUCTO : MUESTRAS DE SUELOS
CANTIDAD DE MUESTRAS : 04
LUGAR Y FECHA DE RECEPCION : AREQUIPA, 20-05-2008
CARACTERISTICAS Y CONDICIONES : ENVASES DE PLASTICO
FECHA DE ENTREGA DE RESULTADOS : 26-05-2008
REFERENCIA : MUESTRA PROPORCIONADA POR EL CLIENTE
PROCEDENCIA : CERRO COLORADO Y TIABAYA
CODIGO DE REGISTRO DE MUESTRAS :

NOMENCLATURA

PROCEDENCIA

CAB - 01

EMISOR - TIABAYA - TIABAYA

DETERMINACION DE:		CAB-01
Cloruros	ppm Cl^-	151.00
Sulfatos	ppm $\text{SO}_4^{=}$	519.30
Sales Solubles	ppm	1262.00

OBSERVACIONES:		

DETERMINACION	METODO DE ENSAYO APLICADO
NOMBRE	NORMA / REFERENCIA / NOMBRE
Cloruros	Método Argentométrico (NTP 339.177) 2002
Sulfatos	Método Turbidimétrico (NTP 339.178) 2002
Sales Solubles	Método Gravimétrico (NTP 339.152) 2002
-----	-----

Emitido en Arequipa (Perú), el 26 de mayo del 2008



Q.F. JUAN RAMIREZ ORELLANA
C.Q.F.A. 052

José A. Villanueva Salas, PhD
Responsable del Análisis



Urb. San José s/n.
Umacollo
Arequipa
Perú
Teléfono
+5154 251210
Anexo 1166
Telefax
251144

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA
FACULTAD DE CIENCIAS FARMACÉUTICAS,
BIOQUÍMICAS Y BIOTECNOLÓGICAS
LABORATORIO DE CONTROL DE CALIDAD



INFORME DE ANALISIS FISICO QUIMICO

N° DE REPORTE: LPM-01011-2008

NOMBRE DEL CLIENTE : TAHAL
DIRECCION :
ASUNTO : ANALISIS FISICO QUIMICO
PRODUCTO : MUESTRAS DE SUELOS
CANTIDAD DE MUESTRAS : 04
LUGAR Y FECHA DE RECEPCION : AREQUIPA, 20-05-2008
CARACTERISTICAS Y CONDICIONES : ENVASES DE PLASTICO
FECHA DE ENTREGA DE RESULTADOS : 26-05-2008
REFERENCIA : MUESTRA PROPORCIONADA POR EL CLIENTE
PROCEDENCIA : CERRO COLORADO Y TIABAYA
CODIGO DE REGISTRO DE MUESTRAS :

NOMENCLATURA

PROCEDENCIA

CB - 06

PLANTA - TIABAYA - TIABAYA

DETERMINACION DE:		CB-06
Cloruros	ppm Cl^-	55.84
Sulfatos	ppm $\text{SO}_4^{=}$	136.59
Sales Solubles	ppm	1204.00
OBSERVACIONES:		

DETERMINACION	METODO DE ENSAYO APLICADO
NOMBRE	NORMA / REFERENCIA / NOMBRE
Cloruros	Método Argentométrico (NTP 339.177) 2002
Sulfatos	Método Turbidimétrico (NTP 339.178) 2002
Sales Solubles	Método Gravimétrico (NTP 339.152) 2002

Emitido en Arequipa (Perú), el 26 de mayo del 2008



Q.F. JUAN RAMIREZ ORELLANA
C.P.A. 052

José A. Villanueva Salas, PhD
Responsable del Análisis



UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA

FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL

Laboratorio N° 2 - Mecánica de Suelos

Lima 100 - Perú Teléfono: (51-14) 811070 Anexo 308 - Telefax: 3813842

INFORME N° S08 - 348

SOLICITANTE : HC & ASOCIADOS SRL.
PROYECTO : ESTUDIO DE INGENIERIA BASICA DEL SISTEMA DE EMISORES Y PLANTA DE
UBICACIÓN : Periferia de la ciudad de Arequipa
FECHA : 27, Mayo del 2008

REPORTE DE ENSAYOS DE LABORATORIO

Calicata : C-02
Prof.(m.) : ***
Muestra : M-1

ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO POR TAMIZADO - ASTM D422

Tamiz	Abertura (mm)	(%) Parcial	(%)	
			Reten	Pasa
3"	76.200	-	-	
2"	50.300	-	-	
1 1/2"	38.100	-	-	
1"	25.400	-	-	
3/4"	19.050	-	-	
1/2"	12.700	-	-	100.0
3/8"	9.525	1.1	1.1	98.9
1/4"	6.350	2.0	3.1	96.9
N°4	4.760	1.6	4.7	95.3
N°10	2.000	6.2	10.9	89.1
N°20	0.840	9.2	20.1	79.9
N°30	0.590	5.2	25.3	74.7
N°40	0.426	6.7	32.0	68.0
N°60	0.250	15.2	47.2	52.8
N°100	0.149	12.8	60.0	40.0
N°200	0.074	4.6	64.6	35.4
- N°200		35.4		

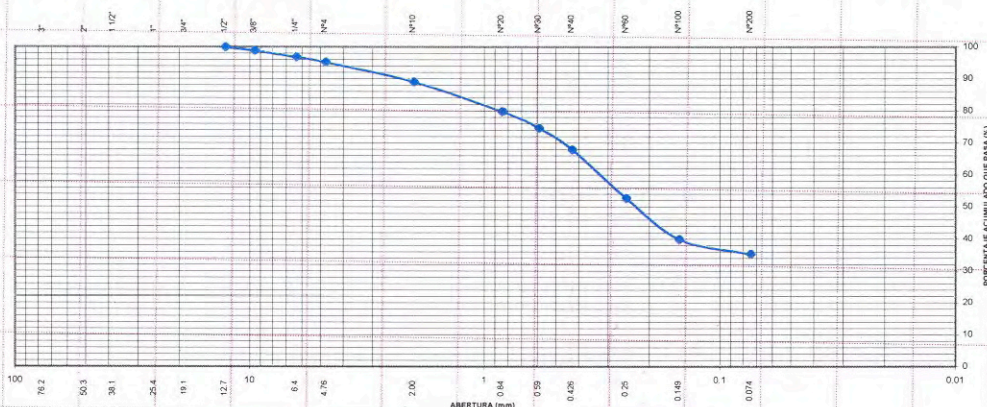
% grava	:	4.7
% arena	:	59.9
% finos	:	35.4

LIMITES DE CONSISTENCIA ASTM D4318

Límite Líquido (%)	:	NP
Límite Plástico (%)	:	NP
Índice Plástico (%)	:	NP

Clasificación SUCS ASTM D2487 : SM

CURVA GRANULOMÉTRICA



Nota. Muestra remitida e identificada por el Solicitante

Ejecución : Tec. J. Poul Huambo
Revisión : Bach. Ing. N. Noreña V.

NILTONSON NOREÑA VALVERDE.
BACH. ING. RESPONSABLE DE AREA
Lab. de Mecánica de Suelos UNI



JOSE WILFREDO GUTIERREZ LAZARES
ING. JEFE DEL LABORATORIO
Lab. de Mecánica de Suelos UNI



UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA

FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL

Laboratorio N° 2 - Mecánica de Suelos

Lima 100 - Perú Teléfono: (51-14) 811070 Anexo 308 - Telefax: 3813842

INFORME N° S08 - 348

SOLICITANTE : HC & ASOCIADOS SRL.

PROYECTO : ESTUDIO DE INGENIERIA BASICA DEL SISTEMA DE EMISORES Y PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES DE LA CIUDAD DE AREQUIPA

UBICACIÓN : Periferia de la ciudad de Arequipa

FECHA : 27, Mayo del 2008

ENSAYO DE EXPANSION LIBRE O CARGA CONTROLADA

ASTM D-4546

Calicata : CE-02

Muestra : M-1

Profundidad (m) : ***

Clasif. (SUCS) : SM

Estado : Remoldeado

Carga de Asiento (Kg/cm2) : 0.01

DATOS DEL ESPECIMEN

Altura (h)	mm	31.70
Diametro (Φ)	mm	112.80
Grav. Esp. Rel. Sol. (Gs)		2.381

Humedad Inicial (ω_0)	%	1.37
Humedad Final (ω_f)	%	35.38

ETAPA DE EXPANSION

Tiempo (min)	Lect Dial (mm)	Expansion (mm)	Altura (mm)	Dens. Seca (g/cm3)	Relac. Vacios (e.)	Expansion (%)
0.00	2.000	0.000	31.70	1.22	0.947	0.00
0.10	2.010	0.010	31.71	1.22	0.947	0.03
0.25	2.020	0.020	31.72	1.22	0.948	0.06
0.50	2.080	0.080	31.78	1.22	0.951	0.25
1.00	2.170	0.170	31.87	1.22	0.957	0.54
2.00	2.370	0.370	32.07	1.21	0.969	1.17
4.00	2.500	0.500	32.20	1.20	0.977	1.58
8.00	3.100	1.100	32.80	1.18	1.014	3.47
15.00	3.750	1.750	33.45	1.16	1.054	5.52
30.00	4.250	2.250	33.95	1.14	1.085	7.10
60.00	4.780	2.780	34.48	1.12	1.117	8.77
120.00	5.260	3.260	34.96	1.11	1.147	10.28
240.00	5.620	3.620	35.32	1.10	1.169	11.42
480.00	5.950	3.950	35.65	1.09	1.189	12.46
1440.00	6.530	4.530	36.23	1.07	1.225	14.29
2160.00	6.730	4.730	36.43	1.06	1.237	14.92
2880.00	6.780	4.780	36.48	1.06	1.240	15.08
4320.00	6.890	4.890	36.59	1.06	1.247	15.43
5760.00	6.930	4.930	36.63	1.06	1.249	15.55
7200.00	6.950	4.950	36.65	1.06	1.250	15.62
8640.00	6.960	4.960	36.66	1.06	1.251	15.65
10080.00	6.960	4.960	36.66	1.06	1.251	15.65

Nota: El ensayo se ha realizado en especimen remoldeado, cuya densidad 1.24 gr/cm^3 y Humedad 1.39% han sido proporcionados por el solicitante

Muestras remitidas e identificadas por el solicitante

Realizado por: Tec. J. Poul Huambo

Revisado por: Bach. Ing. N. Noreña V.

NILTONSON NOREÑA VALVERDE.
BACH. ING. RESPONSABLE DE AREA
Lab. de Mecanica de Suelos UNI



JOSE WILFREDO GUTIERREZ LAZARES
ING. JEFE DEL LABORATORIO
Lab. de Mecanica de Suelos UNI



UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA

FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL

Laboratorio N° 2 - Mecánica de Suelos

Lima 100 - Perú Teléfono: (51-14) 811070 Anexo 308 - Telefax: 3813842

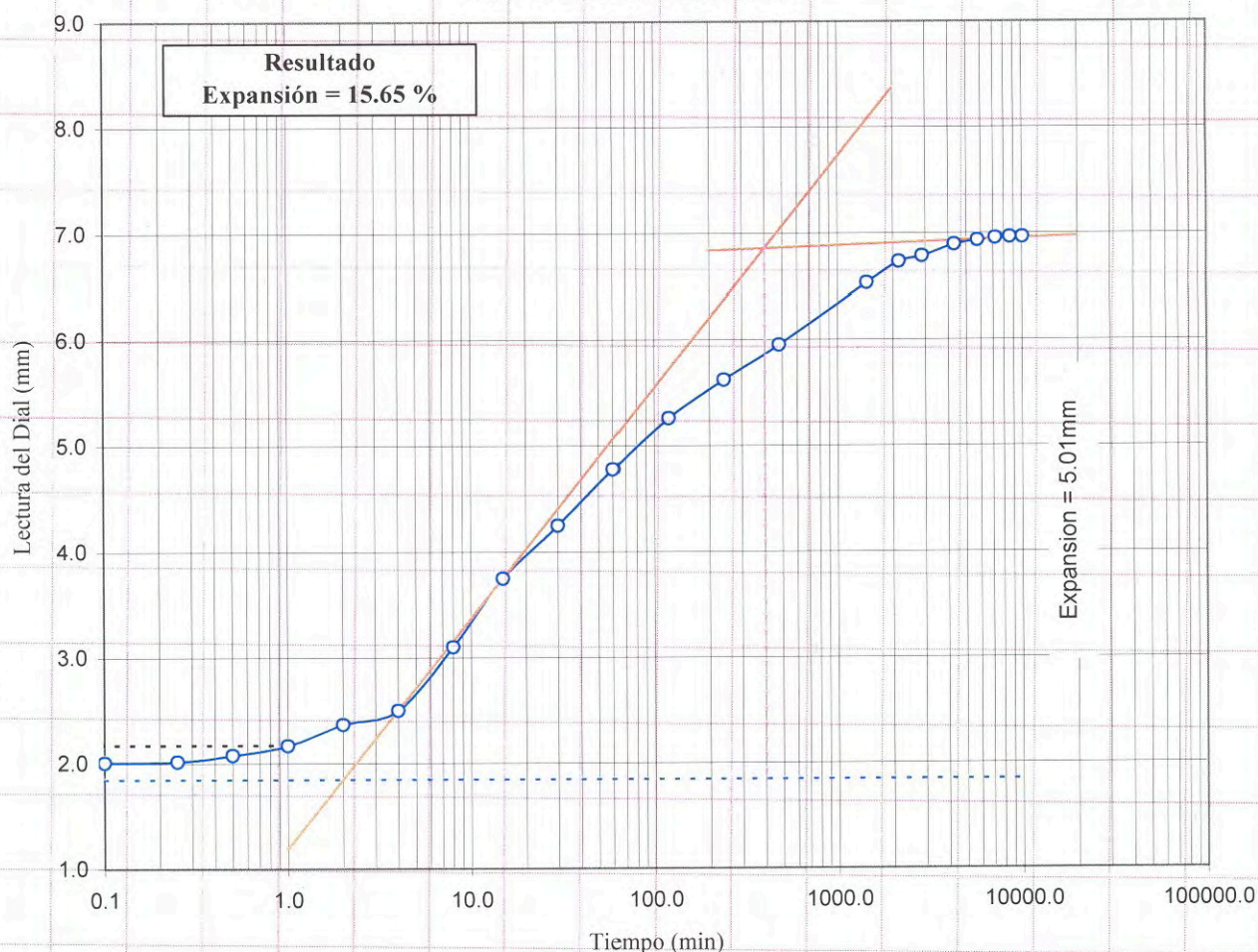
INFORME N° S08 - 348

SOLICITANTE : HC & ASOCIADOS SRL.
PROYECTO : ESTUDIO DE INGENIERIA BASICA DEL SISTEMA DE EMISORES Y PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES DE LA CIUDAD DE AREQUIPA
UBICACIÓN : Periferia de la ciudad de Arequipa
FECHA : 27, Mayo del 2008

ENSAYO DE EXPANSION LIBRE O CARGA CONTROLADA ASTM D4546

Calicata : CE-02
Muestra : M-1
Profundidad (m): ***
Clasif. (SUCS) : SM
Estado : Remoldeado
Carga de Asiento (Kg/cm²) : 0.01

CURVA DE EXPANSION



Muestras remitidas e identificadas por el solicitante

Realizado por: Tec. J. Poul Huambo
Revisado por: Bach. Ing. N. Noreña V.

NILTHSON NOREÑA VALVERDE.
BACH. ING. RESPONSABLE DE AREA
Lab. de Mecánica de Suelos UNI



ING. JEFE DEL LABORATORIO
Lab. de Mecánica de Suelos UNI



UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA

FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL

Laboratorio N° 2 - Mecánica de Suelos

Lima 100 - Perú Teléfono: (51-14) 811070 Anexo 308 - Telefax: 3813842

INFORME N° S08 - 348

SOLICITANTE : HC & ASOCIADOS SRL.

PROYECTO : ESTUDIO DE INGENIERIA BASICA DEL SISTEMA DE EMISORES Y PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES DE LA CIUDAD DE AREQUIPA

UBICACIÓN : Periferia de la ciudad de Arequipa

FECHA : 27, Mayo del 2008

ENSAYO DE COLAPSO

ASTM D5333

Calicata : CE-02

Muestra : M-1

Profundidad (m) : ***

Clasif. (SUCS) : SM

Estado : Remoldeado

Fecha de Instalacion : 19-05-08

DATOS DEL ESPECIMEN

Altura (h)	mm	31.70
Diametro (Φ)	mm	112.80
Grav. Esp. Rel. Sol. (Gs)		2.380

Humedad Inicial (ω_o)	%	1.56
Humedad Final (ω_f)	%	32.89
Grado de Saturacion Inicial	%	3.90
Grado de Saturacion Final	%	82.45

ETAPA SIN SATURAR

Carga Aplicada (Kg/cm ²)	Lect Dial (mm)	Asentamiento (mm)	Altura Promedio (mm)	Dens. Seca (g/cm ³)	Relac. Vacios (e.)	Deformacion Vertical (%)
0.00	2.000	0.000	31.70	1.221	0.949	0.000
0.25	1.760	0.240	31.46	1.230	0.934	0.757
0.50	1.648	0.352	31.35	1.235	0.928	1.110
1.00	1.538	0.462	31.24	1.239	0.921	1.457
2.00	1.348	0.652	31.05	1.247	0.909	2.057

ETAPA SATURADO

2.00	1.131	0.869	30.83	1.255	0.896	2.741
4.00	0.911	1.089	30.61	1.264	0.882	3.435

Nota: El ensayo se ha realizado en especimen remoldeado, la densidad 1.24 gr/cm³ y Humedad 1.39% fueron proporcionados por el solicitante

Muestras remitidas e identificadas por el solicitante

Realizado por: Tec. J. Poul Huambo

Revisado por: Bach. Ing. N. Noreña V.


NILTONSON NOREÑA VALVERDE.
BACH. ING. RESPONSABLE DE AREA
Lab. de Mecanica de Suelos UNI




ING. JEFE DEL LABORATORIO
Lab. de Mecanica de Suelos UNI



UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA

FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL

Laboratorio N° 2 - Mecánica de Suelos

Lima 100 - Perú Teléfono: (51-14) 811070 Anexo 308 - Telefax: 3813842

INFORME N° S08 - 348

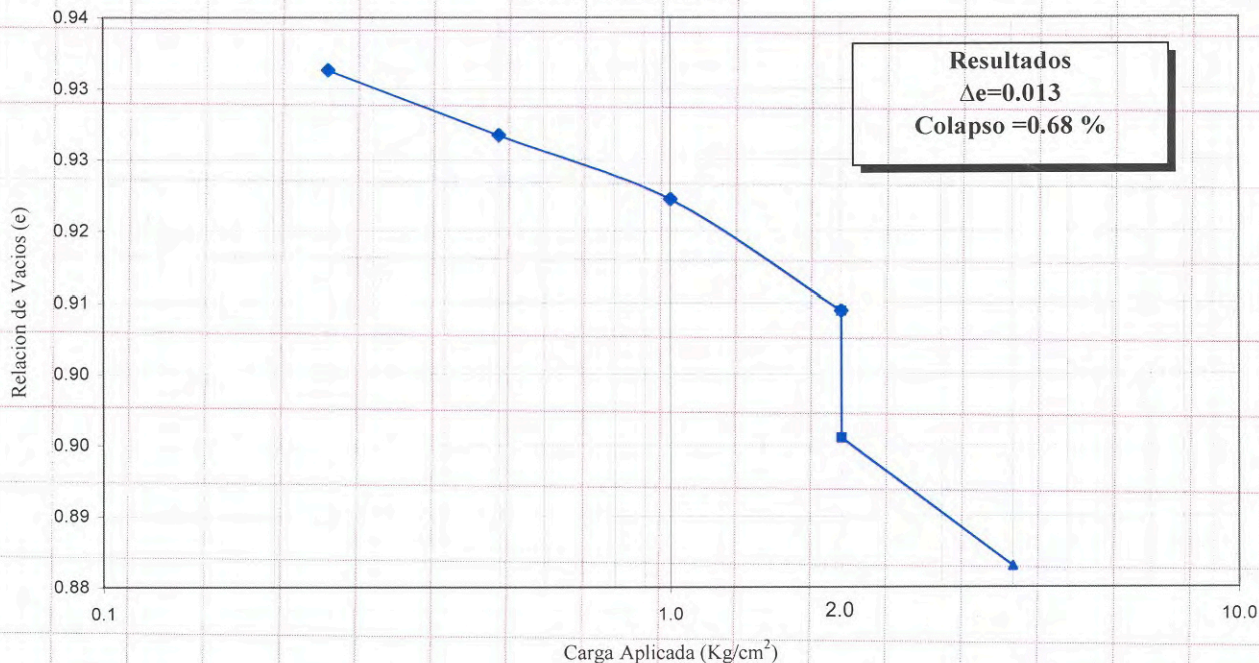
SOLICITANTE : HC & ASOCIADOS SRL.
PROYECTO : ESTUDIO DE INGENIERIA BASICA DEL SISTEMA DE EMISORES Y PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES DE LA CIUDAD DE AREQUIPA
UBICACIÓN : Periferia de la ciudad de Arequipa
FECHA : 27, Mayo del 2008

ENSAYO DE COLAPSO ASTM D5333

Calicata : CE-02
Muestra : M-1
Profundidad (m): ***

Clasif. (SUCS) : SM
Estado : Remoldeado
Fecha de Colocacion : 19-05-08

CURVA DE COLAPSO



Muestras remitidas e identificadas por el solicitante

Realizado por: Tec. J. Poul Huambo

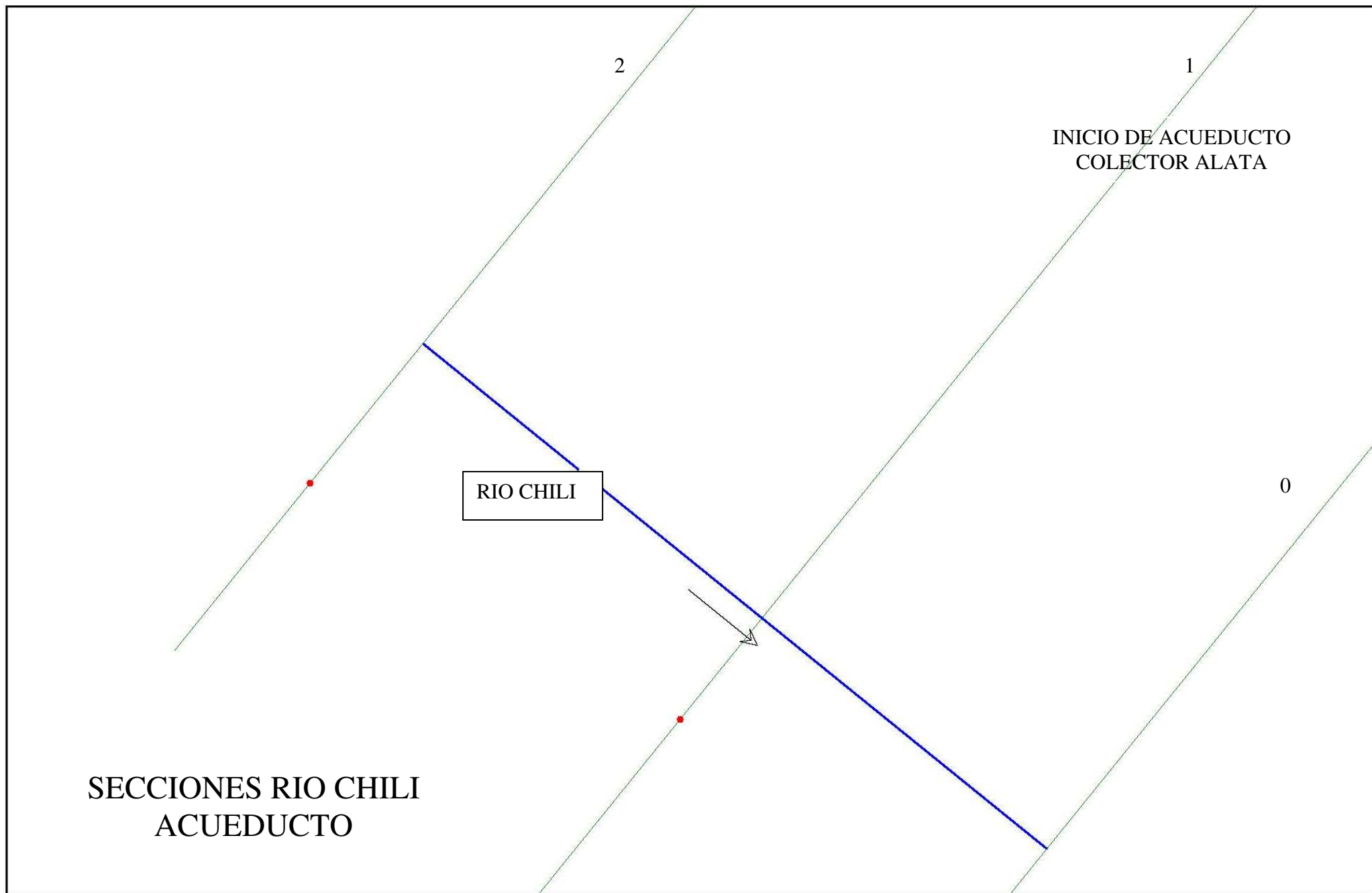
Revisado por: Bach. Ing. N. Noreña V.

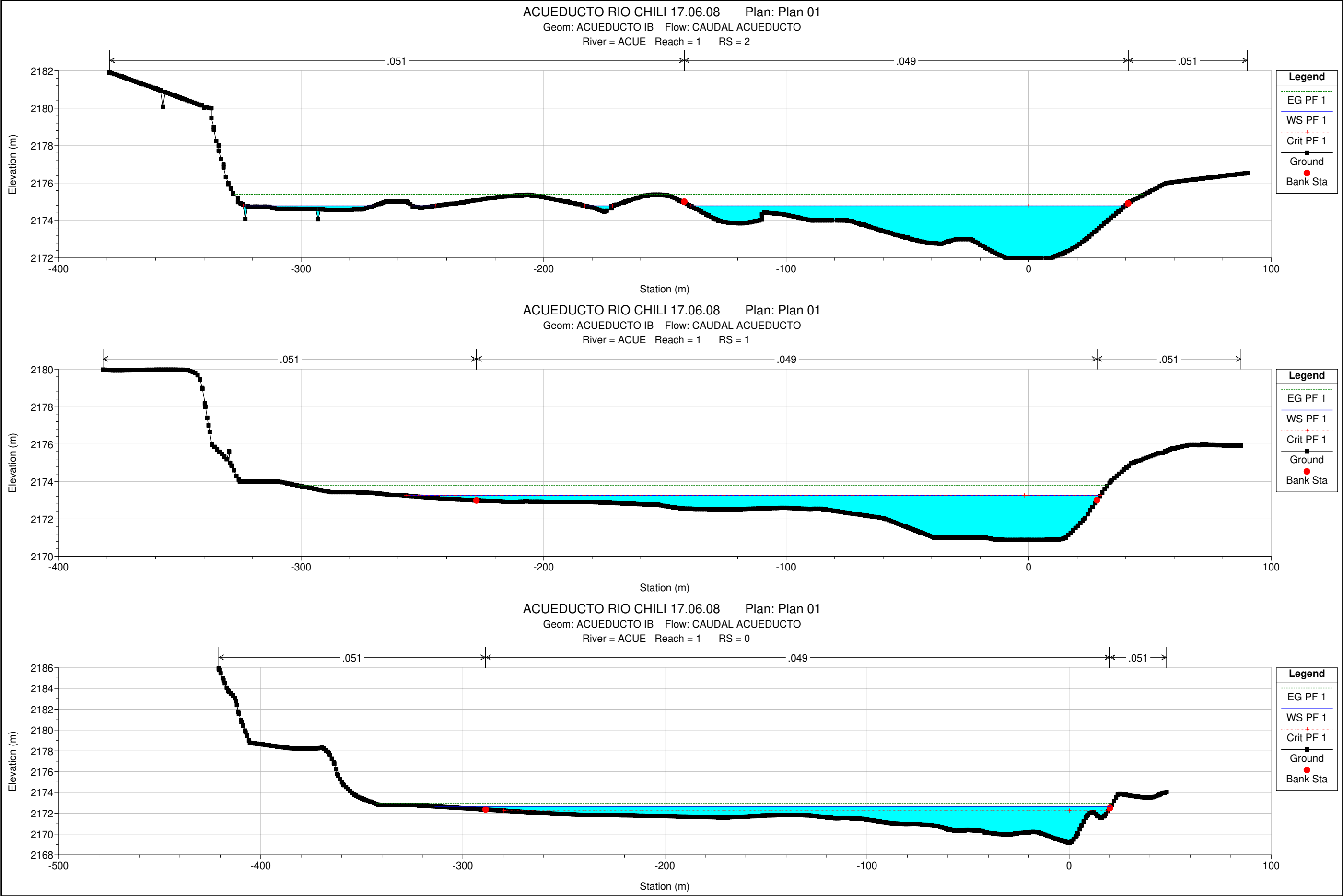
NILTHSON NOREÑA VALVERDE.
BACH. ING. RESPONSABLE DE AREA
Lab. de Mecánica de Suelos UNI



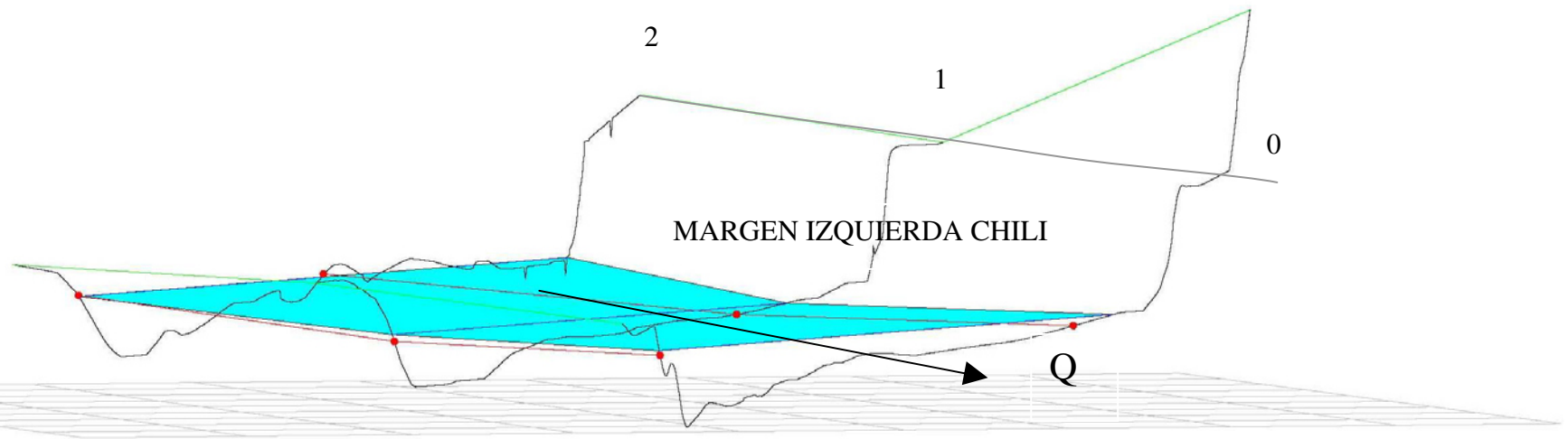
JOSÉ WILFREDO GUTIERREZ LAZARES
ING. JEFE DEL LABORATORIO
Lab. de Mecánica de Suelos UNI



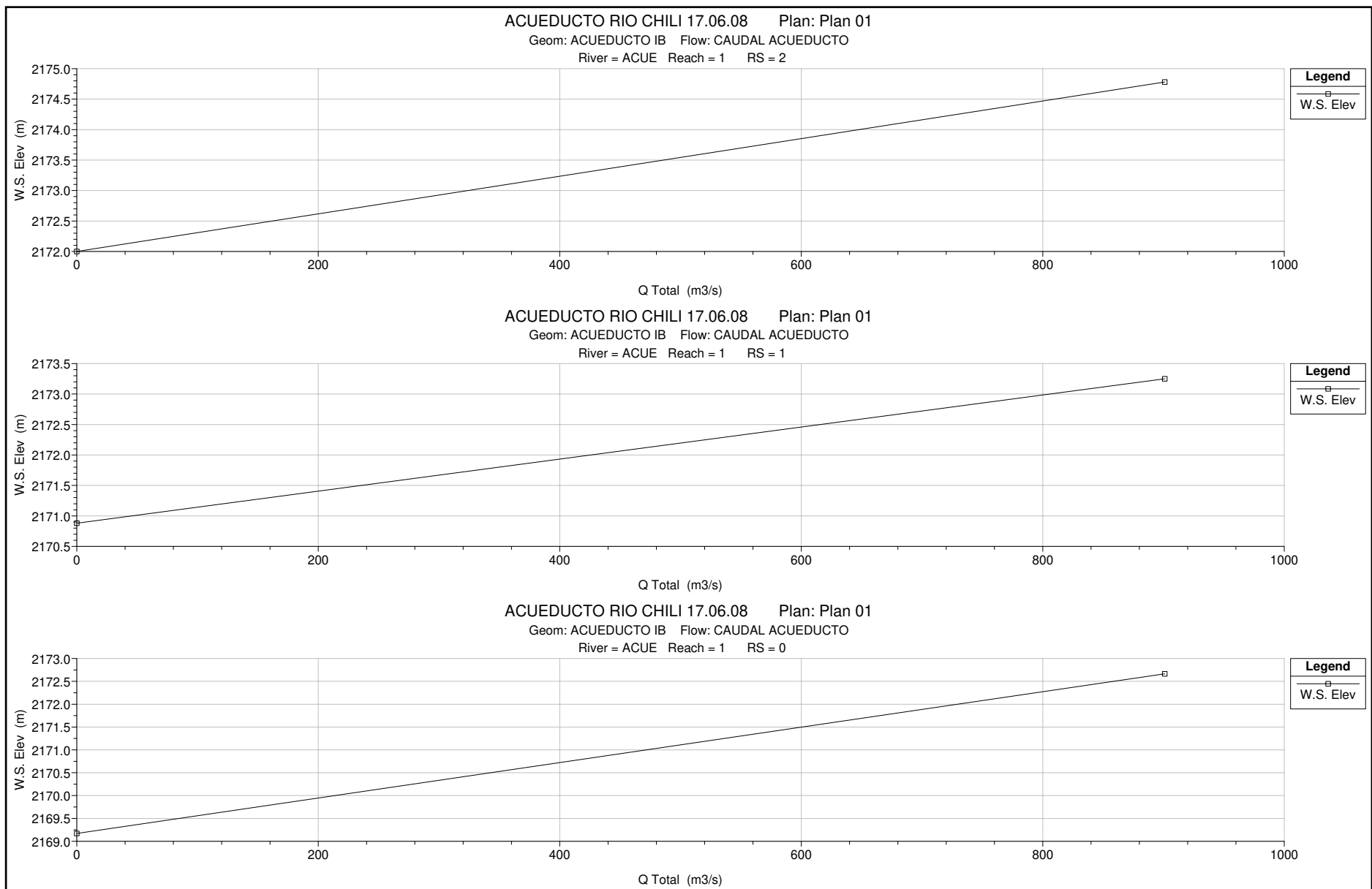




Legend	
	WS PF 1
	Ground
	Bank Sta



SECCIÓN N° 1 EN LA LÍNEA DEL ACUEDUCTO PROYECTADO



Plan: Plan 01 ACUE 1 RS: 2 Profile: PF 1

E.G. Elev (m)	2175.40	Element	Left OB	Channel	Right OB
Vel Head (m)	0.61	Wt. n-Val.	0.051	0.049	
W.S. Elev (m)	2174.78	Reach Len. (m)	50.00	50.00	50.00
Crit W.S. (m)	2174.78	Flow Area (m2)	11.14	256.03	
E.G. Slope (m/m)	0.018224	Area (m2)	11.14	256.03	
Q Total (m3/s)	901.00	Flow (m3/s)	8.45	892.55	
Top Width (m)	254.46	Top Width (m)	75.11	179.34	
Vel Total (m/s)	3.37	Avg. Vel. (m/s)	0.76	3.49	
Max Chl Dpth (m)	2.78	Hydr. Depth (m)	0.15	1.43	
Conv. Total (m3/s)	6674.2	Conv. (m3/s)	62.6	6611.6	
Length Wtd. (m)	50.00	Wetted Per. (m)	75.98	179.87	
Min Ch El (m)	2172.00	Shear (N/m2)	26.20	254.38	
Alpha	1.06	Stream Power (N/m s)	19.88	886.79	
Frctn Loss (m)	1.01	Cum Volume (1000 m3)	0.56	27.91	0.01
C & E Loss (m)	0.02	Cum SA (1000 m2)	3.74	22.74	0.07

Plan: Plan 01 ACUE 1 RS: 1 Profile: PF 1

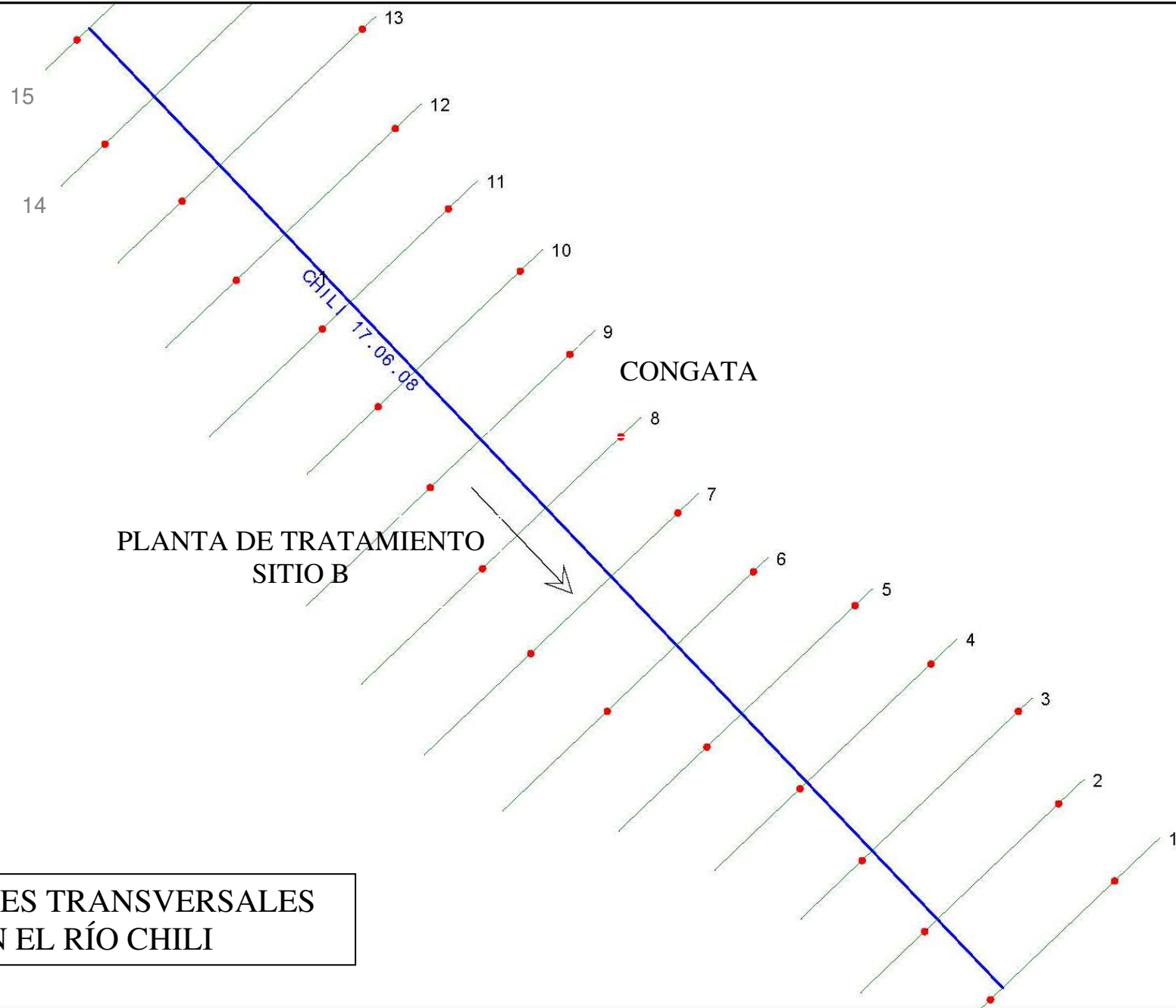
E.G. Elev (m)	2173.78	Element	Left OB	Channel	Right OB
Vel Head (m)	0.53	Wt. n-Val.	0.051	0.049	0.051
W.S. Elev (m)	2173.25	Reach Len. (m)	42.00	42.00	42.00
Crit W.S. (m)	2173.25	Flow Area (m2)	4.36	277.17	0.17
E.G. Slope (m/m)	0.022636	Area (m2)	4.36	277.17	0.17
Q Total (m3/s)	901.00	Flow (m3/s)	3.62	897.25	0.13
Top Width (m)	286.27	Top Width (m)	29.10	255.82	1.35
Vel Total (m/s)	3.20	Avg. Vel. (m/s)	0.83	3.24	0.74
Max Chl Dpth (m)	2.37	Hydr. Depth (m)	0.15	1.08	0.13
Conv. Total (m3/s)	5988.7	Conv. (m3/s)	24.1	5963.7	0.8
Length Wtd. (m)	42.00	Wetted Per. (m)	29.10	256.02	1.38
Min Ch El (m)	2170.88	Shear (N/m2)	33.23	240.31	27.61
Alpha	1.02	Stream Power (N/m s)	27.64	777.93	20.29
Frctn Loss (m)	0.51	Cum Volume (1000 m3)	0.17	14.58	0.00
C & E Loss (m)	0.09	Cum SA (1000 m2)	1.14	11.86	0.04

Plan: Plan 01 ACUE 1 RS: 0 Profile: PF 1

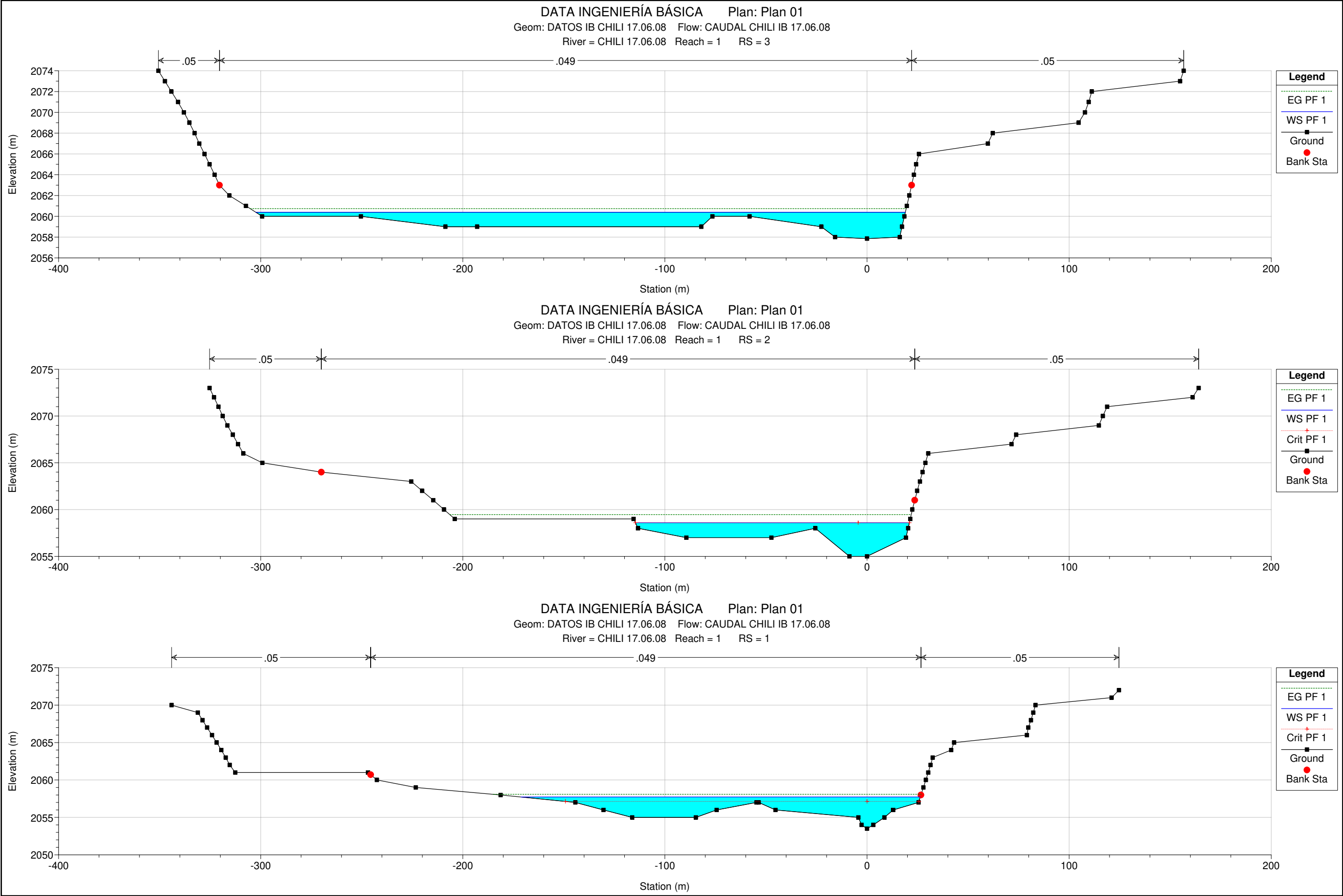
E.G. Elev (m)	2172.90	Element	Left OB	Channel	Right OB
Vel Head (m)	0.24	Wt. n-Val.	0.051	0.049	0.051
W.S. Elev (m)	2172.67	Reach Len. (m)			
Crit W.S. (m)	2172.25	Flow Area (m2)	3.85	417.05	0.04
E.G. Slope (m/m)	0.007501	Area (m2)	3.85	417.05	0.04
Q Total (m3/s)	901.00	Flow (m3/s)	1.87	899.12	0.01
Top Width (m)	334.57	Top Width (m)	25.15	308.91	0.51
Vel Total (m/s)	2.14	Avg. Vel. (m/s)	0.49	2.16	0.30
Max Chl Dpth (m)	3.49	Hydr. Depth (m)	0.15	1.35	0.08
Conv. Total (m3/s)	10403.0	Conv. (m3/s)	21.6	10381.2	0.1
Length Wtd. (m)		Wetted Per. (m)	25.15	309.61	0.53
Min Ch El (m)	2169.17	Shear (N/m2)	11.26	99.09	5.35
Alpha	1.01	Stream Power (N/m s)	5.48	213.62	1.58
Frctn Loss (m)		Cum Volume (1000 m3)			
C & E Loss (m)		Cum SA (1000 m2)			

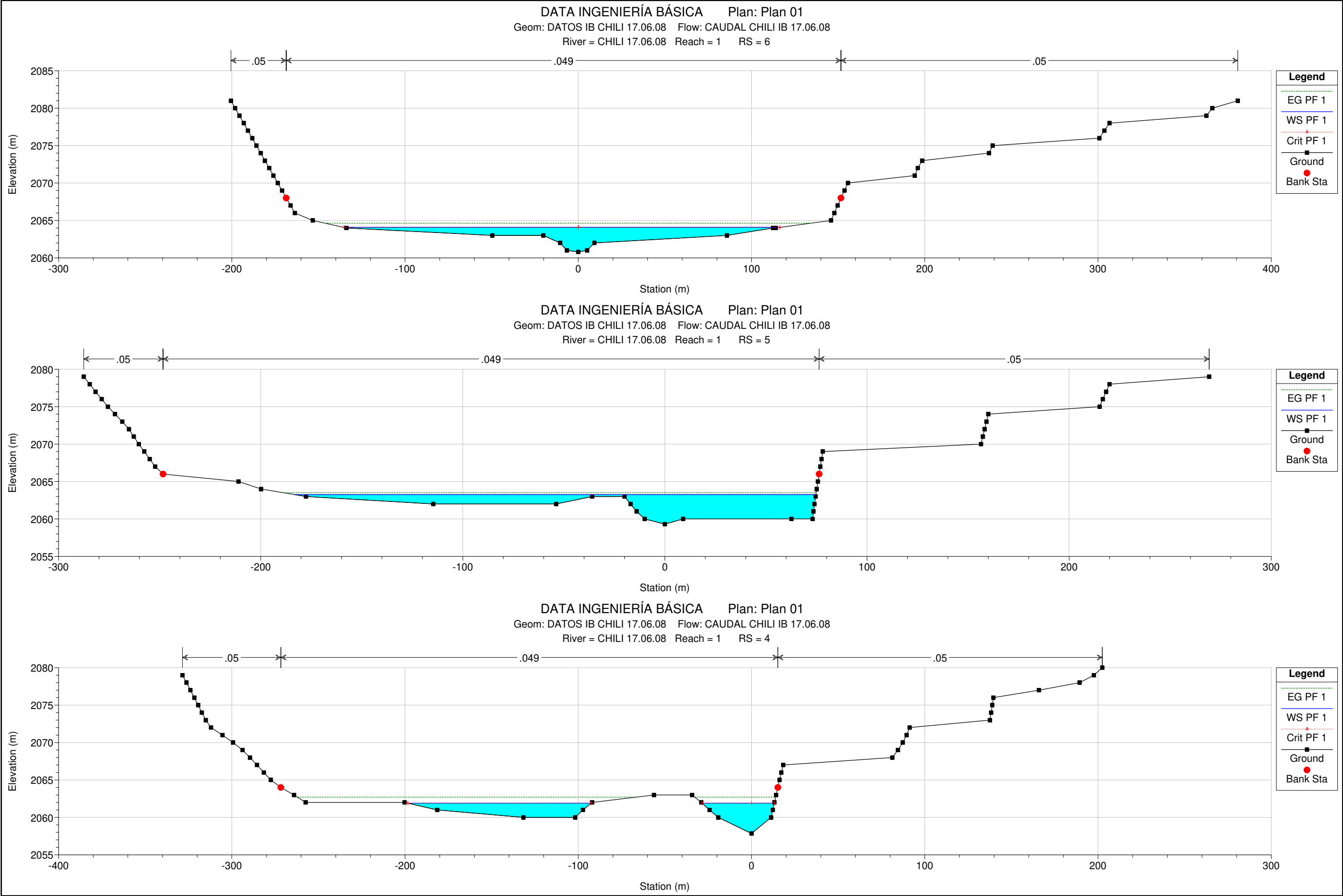
HEC-RAS Plan: Plan 01 River: ACUE Reach: 1 Profile: PF 1

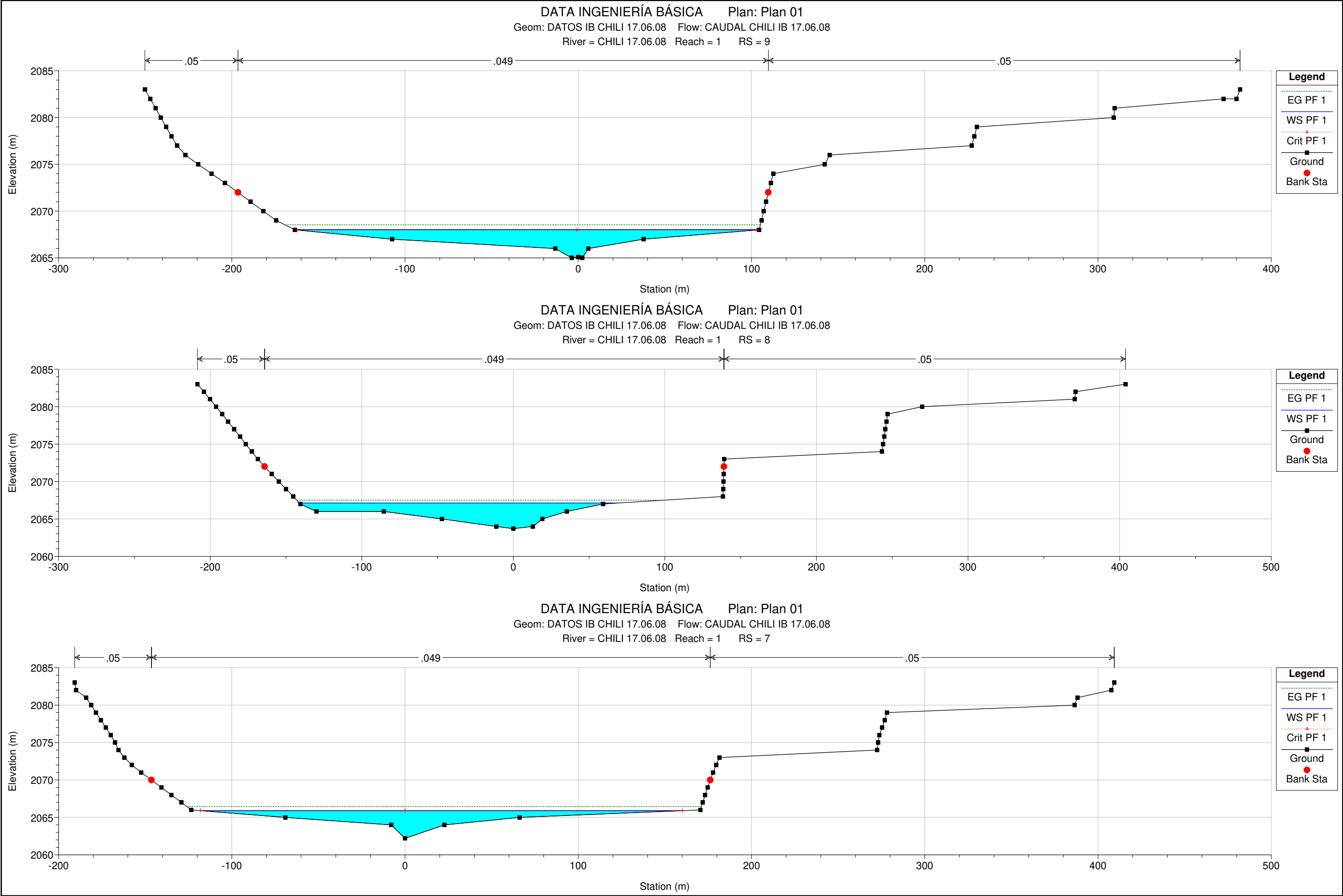
Reach	River Sta	Q Total	Min Ch El	W.S. Elev	Crit W.S.	E.G. Elev	E.G. Slope	Vel Chnl	Flow Area	Top Width	Froude # Chl
		(m3/s)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m/m)	(m/s)	(m2)	(m)	
1	2	901.00	2172.00	2174.78	2174.78	2175.40	0.018224	3.49	267.17	254.46	0.93
1	1	901.00	2170.88	2173.25	2173.25	2173.78	0.022636	3.24	281.69	286.27	0.99
1	0	901.00	2169.17	2172.67	2172.25	2172.90	0.007501	2.16	420.94	334.57	0.59

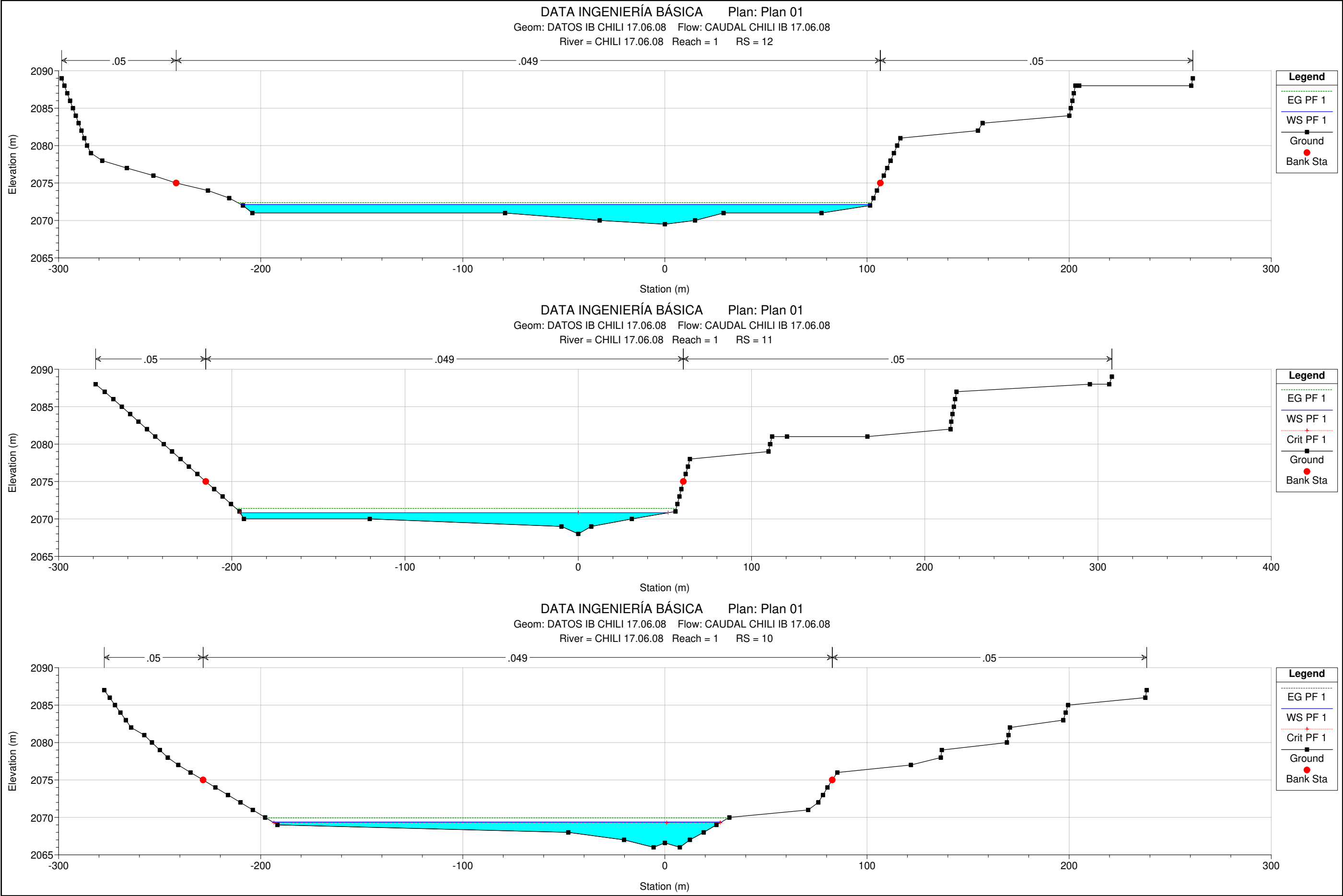


SECCIONES TRANSVERSALES
EN EL RÍO CHILI

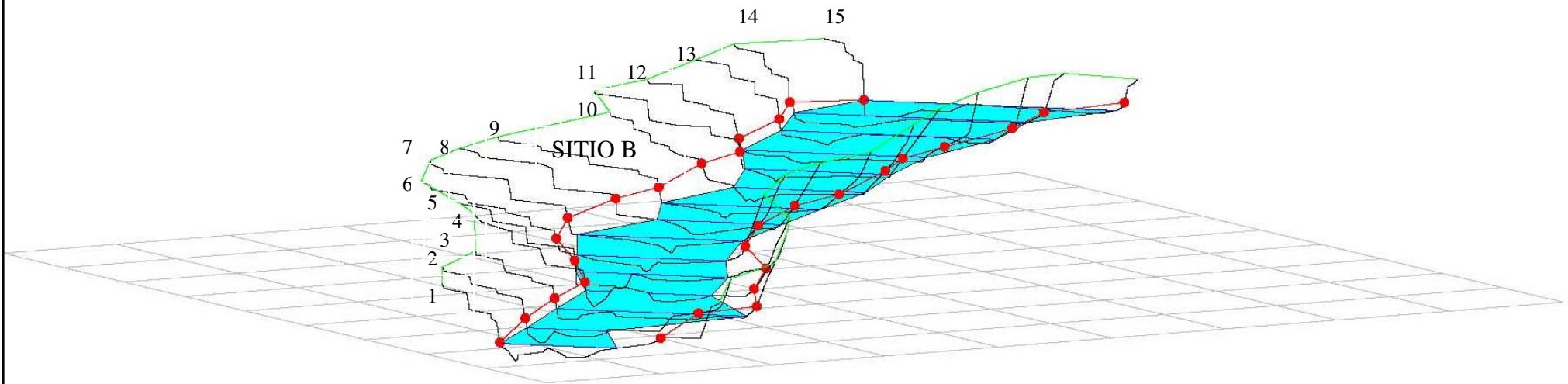


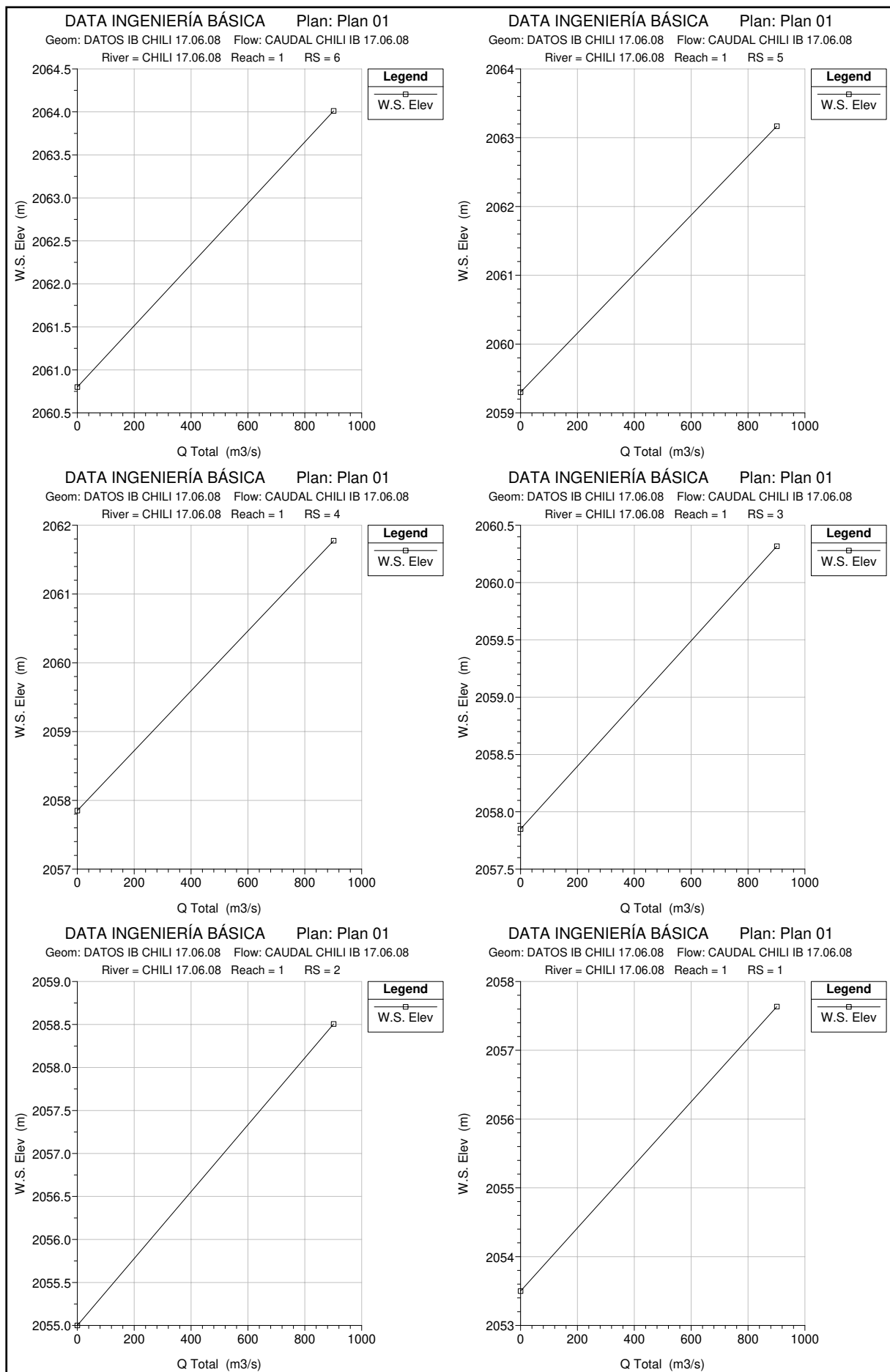


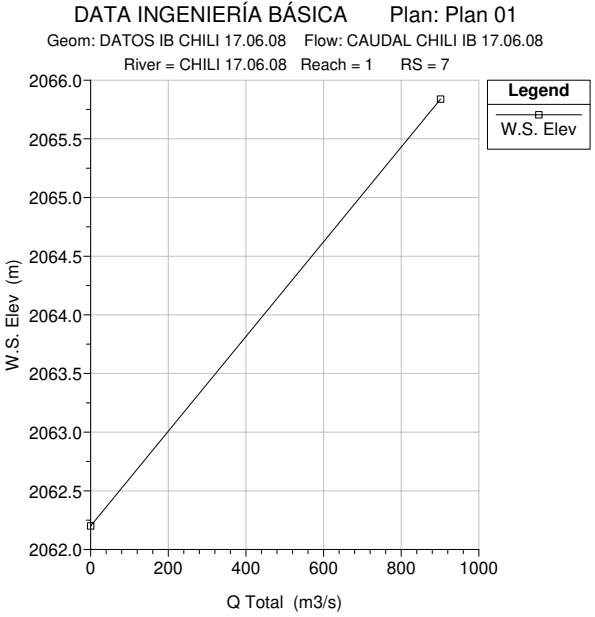
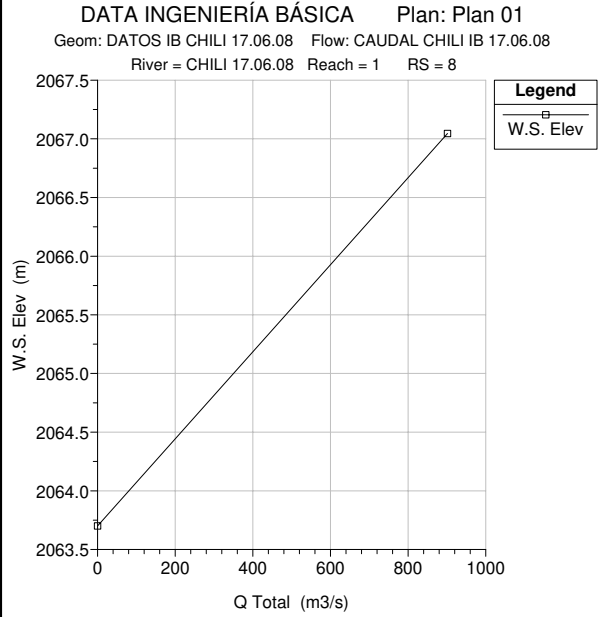
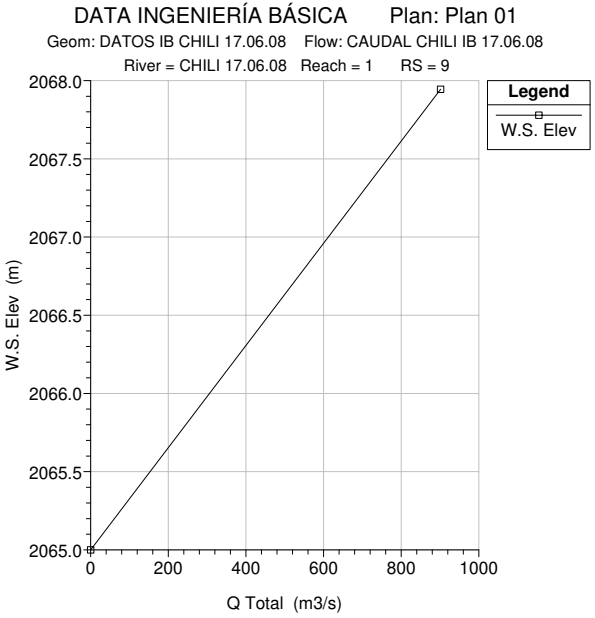
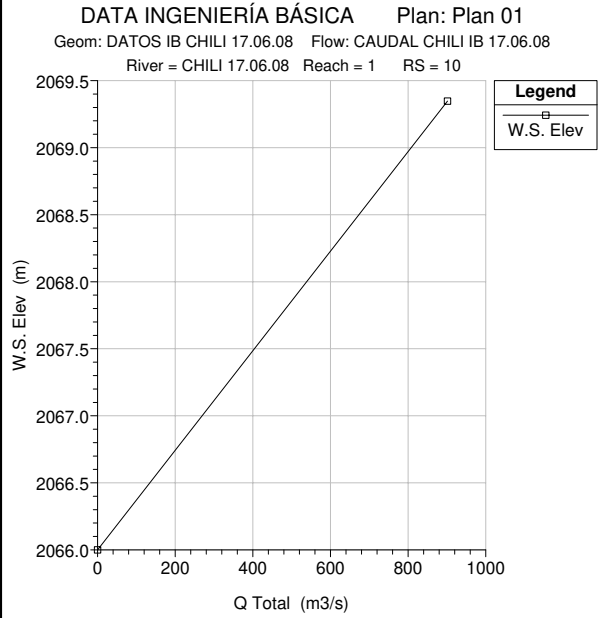
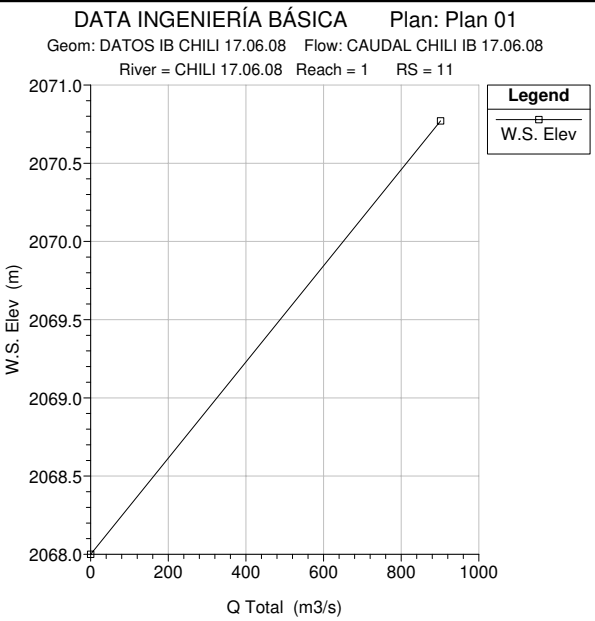
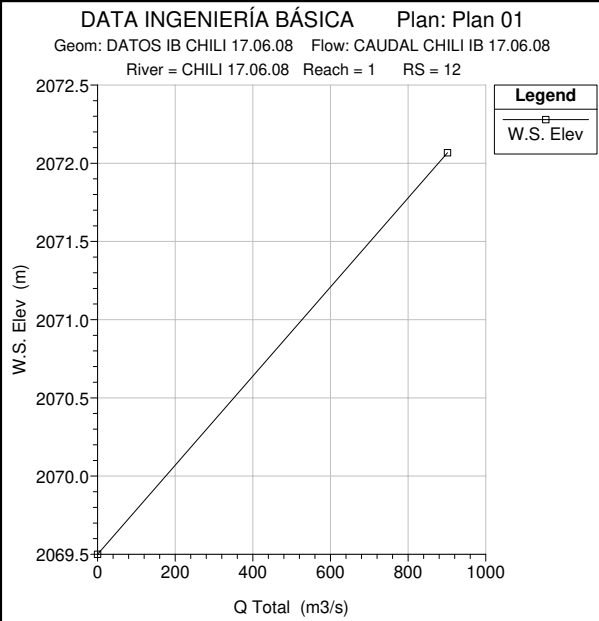




Legend	
	WS PF 1
	Ground
	Bank Sta



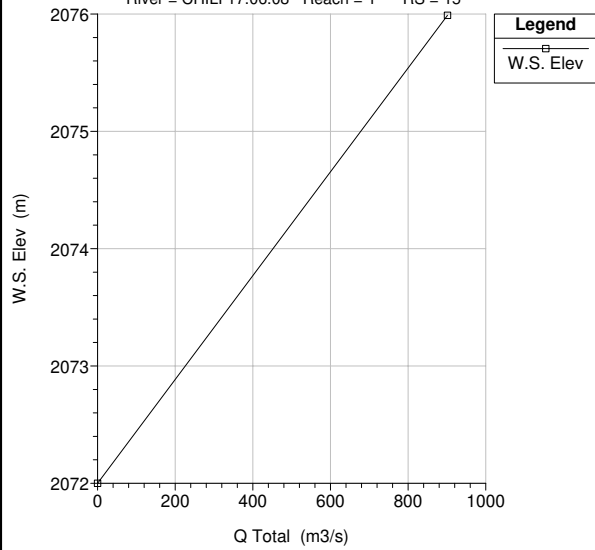




DATA INGENIERÍA BÁSICA Plan: Plan 01

Geom: DATOS IB CHILI 17.06.08 Flow: CAUDAL CHILI IB 17.06.08

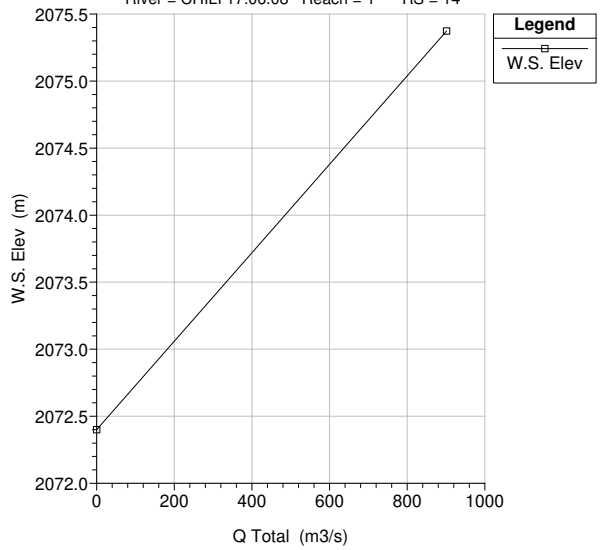
River = CHILI 17.06.08 Reach = 1 RS = 15



DATA INGENIERÍA BÁSICA Plan: Plan 01

Geom: DATOS IB CHILI 17.06.08 Flow: CAUDAL CHILI IB 17.06.08

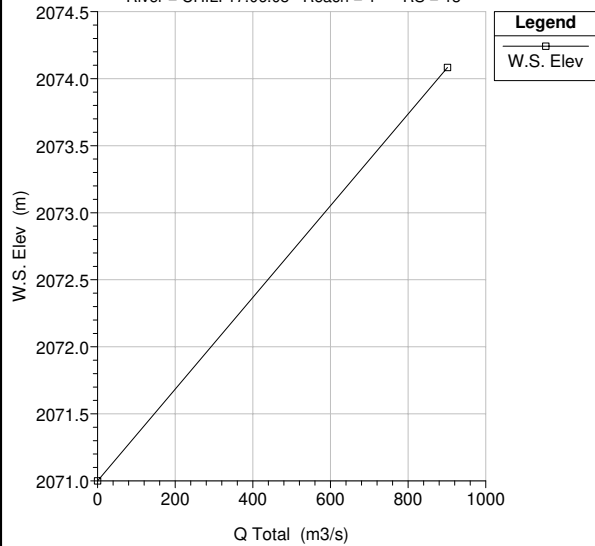
River = CHILI 17.06.08 Reach = 1 RS = 14



DATA INGENIERÍA BÁSICA Plan: Plan 01

Geom: DATOS IB CHILI 17.06.08 Flow: CAUDAL CHILI IB 17.06.08

River = CHILI 17.06.08 Reach = 1 RS = 13



Plan: Plan 01 CHILI 17.06.08 1 RS: 3 Profile: PF 1

E.G. Elev (m)	2060.66	Element	Left OB	Channel	Right OB
Vel Head (m)	0.34	Wt. n-Val.		0.049	
W.S. Elev (m)	2060.32	Reach Len. (m)	75.50	75.00	74.00
Crit W.S. (m)	2060.17	Flow Area (m2)		347.90	
E.G. Slope (m/m)	0.014525	Area (m2)		347.90	
Q Total (m3/s)	901.40	Flow (m3/s)		901.40	
Top Width (m)	320.71	Top Width (m)		320.71	
Vel Total (m/s)	2.59	Avg. Vel. (m/s)		2.59	
Max Chl Dpth (m)	2.47	Hydr. Depth (m)		1.08	
Conv. Total (m3/s)	7479.2	Conv. (m3/s)		7479.2	
Length Wtd. (m)	75.00	Wetted Per. (m)		321.79	
Min Ch El (m)	2057.85	Shear (N/m2)		154.00	
Alpha	1.00	Stream Power (N/m s)		399.02	
Frctn Loss (m)	1.28	Cum Volume (1000 m3)		42.84	
C & E Loss (m)	0.05	Cum SA (1000 m2)		29.45	

Plan: Plan 01 CHILI 17.06.08 1 RS: 2 Profile: PF 1

E.G. Elev (m)	2059.33	Element	Left OB	Channel	Right OB
Vel Head (m)	0.83	Wt. n-Val.		0.049	
W.S. Elev (m)	2058.51	Reach Len. (m)	74.23	75.00	80.20
Crit W.S. (m)	2058.51	Flow Area (m2)		223.59	
E.G. Slope (m/m)	0.020194	Area (m2)		223.59	
Q Total (m3/s)	901.40	Flow (m3/s)		901.40	
Top Width (m)	135.30	Top Width (m)		135.30	
Vel Total (m/s)	4.03	Avg. Vel. (m/s)		4.03	
Max Chl Dpth (m)	3.51	Hydr. Depth (m)		1.65	
Conv. Total (m3/s)	6343.2	Conv. (m3/s)		6343.2	
Length Wtd. (m)	75.00	Wetted Per. (m)		136.42	
Min Ch El (m)	2055.00	Shear (N/m2)		324.57	
Alpha	1.00	Stream Power (N/m s)		1308.50	
Frctn Loss (m)	0.87	Cum Volume (1000 m3)		21.41	
C & E Loss (m)	0.15	Cum SA (1000 m2)		12.35	

Plan: Plan 01 CHILI 17.06.08 1 RS: 1 Profile: PF 1

E.G. Elev (m)	2057.98	Element	Left OB	Channel	Right OB
Vel Head (m)	0.34	Wt. n-Val.		0.049	
W.S. Elev (m)	2057.64	Reach Len. (m)			
Crit W.S. (m)	2057.04	Flow Area (m2)		347.25	
E.G. Slope (m/m)	0.007503	Area (m2)		347.25	
Q Total (m3/s)	901.40	Flow (m3/s)		901.40	
Top Width (m)	194.08	Top Width (m)		194.08	
Vel Total (m/s)	2.60	Avg. Vel. (m/s)		2.60	
Max Chl Dpth (m)	4.14	Hydr. Depth (m)		1.79	
Conv. Total (m3/s)	10406.4	Conv. (m3/s)		10406.4	
Length Wtd. (m)		Wetted Per. (m)		195.15	
Min Ch El (m)	2053.50	Shear (N/m2)		130.93	
Alpha	1.00	Stream Power (N/m s)		339.86	
Frctn Loss (m)		Cum Volume (1000 m3)			
C & E Loss (m)		Cum SA (1000 m2)			

Plan: Plan 01 CHILI 17.06.08 1 RS: 6 Profile: PF 1

E.G. Elev (m)	2064.57	Element	Left OB	Channel	Right OB
Vel Head (m)	0.55	Wt. n-Val.		0.049	
W.S. Elev (m)	2064.01	Reach Len. (m)	74.00	75.00	76.00
Crit W.S. (m)	2064.01	Flow Area (m2)		273.47	
E.G. Slope (m/m)	0.022989	Area (m2)		273.47	
Q Total (m3/s)	901.40	Flow (m3/s)		901.40	
Top Width (m)	248.41	Top Width (m)		248.41	
Vel Total (m/s)	3.30	Avg. Vel. (m/s)		3.30	
Max Chl Dpth (m)	3.21	Hydr. Depth (m)		1.10	
Conv. Total (m3/s)	5945.1	Conv. (m3/s)		5945.1	
Length Wtd. (m)	75.00	Wetted Per. (m)		248.75	
Min Ch El (m)	2060.80	Shear (N/m2)		247.85	
Alpha	1.00	Stream Power (N/m s)		816.96	
Frctn Loss (m)	0.78	Cum Volume (1000 m3)		114.39	
C & E Loss (m)	0.09	Cum SA (1000 m2)		80.77	

Plan: Plan 01 CHILI 17.06.08 1 RS: 5 Profile: PF 1

E.G. Elev (m)	2063.41	Element	Left OB	Channel	Right OB
Vel Head (m)	0.24	Wt. n-Val.		0.049	
W.S. Elev (m)	2063.17	Reach Len. (m)	74.80	75.00	75.60
Crit W.S. (m)		Flow Area (m2)		417.62	
E.G. Slope (m/m)	0.005900	Area (m2)		417.62	
Q Total (m3/s)	901.40	Flow (m3/s)		901.40	
Top Width (m)	255.95	Top Width (m)		255.95	
Vel Total (m/s)	2.16	Avg. Vel. (m/s)		2.16	
Max Chl Dpth (m)	3.87	Hydr. Depth (m)		1.63	
Conv. Total (m3/s)	11735.2	Conv. (m3/s)		11735.2	
Length Wtd. (m)	75.00	Wetted Per. (m)		258.47	
Min Ch El (m)	2059.30	Shear (N/m2)		93.48	
Alpha	1.00	Stream Power (N/m s)		201.77	
Frctn Loss (m)	0.76	Cum Volume (1000 m3)		88.47	
C & E Loss (m)	0.06	Cum SA (1000 m2)		61.86	

Plan: Plan 01 CHILI 17.06.08 1 RS: 4 Profile: PF 1

E.G. Elev (m)	2062.59	Element	Left OB	Channel	Right OB
Vel Head (m)	0.81	Wt. n-Val.		0.049	
W.S. Elev (m)	2061.78	Reach Len. (m)	75.60	75.00	74.20
Crit W.S. (m)	2061.78	Flow Area (m2)		225.73	
E.G. Slope (m/m)	0.021268	Area (m2)		225.73	
Q Total (m3/s)	901.40	Flow (m3/s)		901.40	
Top Width (m)	143.77	Top Width (m)		143.77	
Vel Total (m/s)	3.99	Avg. Vel. (m/s)		3.99	
Max Chl Dpth (m)	3.92	Hydr. Depth (m)		1.57	
Conv. Total (m3/s)	6180.9	Conv. (m3/s)		6180.9	
Length Wtd. (m)	75.00	Wetted Per. (m)		145.25	
Min Ch El (m)	2057.85	Shear (N/m2)		324.14	
Alpha	1.00	Stream Power (N/m s)		1294.37	
Frctn Loss (m)	1.31	Cum Volume (1000 m3)		64.35	
C & E Loss (m)	0.14	Cum SA (1000 m2)		46.87	

Plan: Plan 01 CHILI 17.06.08 1 RS: 9 Profile: PF 1

E.G. Elev (m)	2068.45	Element	Left OB	Channel	Right OB
Vel Head (m)	0.50	Wt. n-Val.		0.049	
W.S. Elev (m)	2067.95	Reach Len. (m)	74.90	75.00	75.20
Crit W.S. (m)	2067.90	Flow Area (m2)		286.36	
E.G. Slope (m/m)	0.021069	Area (m2)		286.36	
Q Total (m3/s)	901.40	Flow (m3/s)		901.40	
Top Width (m)	261.18	Top Width (m)		261.18	
Vel Total (m/s)	3.15	Avg. Vel. (m/s)		3.15	
Max Chl Dpth (m)	2.94	Hydr. Depth (m)		1.10	
Conv. Total (m3/s)	6210.1	Conv. (m3/s)		6210.1	
Length Wtd. (m)	75.00	Wetted Per. (m)		261.42	
Min Ch El (m)	2065.00	Shear (N/m2)		226.32	
Alpha	1.00	Stream Power (N/m s)		712.42	
Frctn Loss (m)	0.99	Cum Volume (1000 m3)		181.40	
C & E Loss (m)	0.04	Cum SA (1000 m2)		135.27	

Plan: Plan 01 CHILI 17.06.08 1 RS: 8 Profile: PF 1

E.G. Elev (m)	2067.42	Element	Left OB	Channel	Right OB
Vel Head (m)	0.37	Wt. n-Val.		0.049	
W.S. Elev (m)	2067.05	Reach Len. (m)	74.70	75.00	75.40
Crit W.S. (m)		Flow Area (m2)		333.84	
E.G. Slope (m/m)	0.009061	Area (m2)		333.84	
Q Total (m3/s)	901.40	Flow (m3/s)		901.40	
Top Width (m)	203.52	Top Width (m)		203.52	
Vel Total (m/s)	2.70	Avg. Vel. (m/s)		2.70	
Max Chl Dpth (m)	3.35	Hydr. Depth (m)		1.64	
Conv. Total (m3/s)	9469.3	Conv. (m3/s)		9469.3	
Length Wtd. (m)	75.00	Wetted Per. (m)		203.73	
Min Ch El (m)	2063.70	Shear (N/m2)		145.61	
Alpha	1.00	Stream Power (N/m s)		393.15	
Frctn Loss (m)	1.04	Cum Volume (1000 m3)		158.14	
C & E Loss (m)	0.02	Cum SA (1000 m2)		117.84	

Plan: Plan 01 CHILI 17.06.08 1 RS: 7 Profile: PF 1

E.G. Elev (m)	2066.37	Element	Left OB	Channel	Right OB
Vel Head (m)	0.53	Wt. n-Val.		0.049	
W.S. Elev (m)	2065.84	Reach Len. (m)	75.10	75.00	74.60
Crit W.S. (m)	2065.84	Flow Area (m2)		279.70	
E.G. Slope (m/m)	0.023621	Area (m2)		279.70	
Q Total (m3/s)	901.40	Flow (m3/s)		901.40	
Top Width (m)	268.27	Top Width (m)		268.27	
Vel Total (m/s)	3.22	Avg. Vel. (m/s)		3.22	
Max Chl Dpth (m)	3.64	Hydr. Depth (m)		1.04	
Conv. Total (m3/s)	5865.0	Conv. (m3/s)		5865.0	
Length Wtd. (m)	75.00	Wetted Per. (m)		268.57	
Min Ch El (m)	2062.20	Shear (N/m2)		241.25	
Alpha	1.00	Stream Power (N/m s)		777.46	
Frctn Loss (m)	1.75	Cum Volume (1000 m3)		135.13	
C & E Loss (m)	0.00	Cum SA (1000 m2)		100.15	

Plan: Plan 01 CHILI 17.06.08 1 RS: 12 Profile: PF 1

E.G. Elev (m)	2072.32	Element	Left OB	Channel	Right OB
Vel Head (m)	0.25	Wt. n-Val.		0.049	
W.S. Elev (m)	2072.07	Reach Len. (m)	75.10	75.00	74.80
Crit W.S. (m)		Flow Area (m2)		406.13	
E.G. Slope (m/m)	0.008289	Area (m2)		406.13	
Q Total (m3/s)	901.40	Flow (m3/s)		901.40	
Top Width (m)	310.87	Top Width (m)		310.87	
Vel Total (m/s)	2.22	Avg. Vel. (m/s)		2.22	
Max Chl Dpth (m)	2.57	Hydr. Depth (m)		1.31	
Conv. Total (m3/s)	9900.8	Conv. (m3/s)		9900.8	
Length Wtd. (m)	75.00	Wetted Per. (m)		311.08	
Min Ch El (m)	2069.50	Shear (N/m2)		106.12	
Alpha	1.00	Stream Power (N/m s)		235.53	
Frctn Loss (m)	0.96	Cum Volume (1000 m3)		249.42	
C & E Loss (m)	0.03	Cum SA (1000 m2)		191.73	

Plan: Plan 01 CHILI 17.06.08 1 RS: 11 Profile: PF 1

E.G. Elev (m)	2071.32	Element	Left OB	Channel	Right OB
Vel Head (m)	0.55	Wt. n-Val.		0.049	
W.S. Elev (m)	2070.77	Reach Len. (m)	73.00	75.00	74.50
Crit W.S. (m)	2070.77	Flow Area (m2)		273.66	
E.G. Slope (m/m)	0.022554	Area (m2)		273.66	
Q Total (m3/s)	901.40	Flow (m3/s)		901.40	
Top Width (m)	245.32	Top Width (m)		245.32	
Vel Total (m/s)	3.29	Avg. Vel. (m/s)		3.29	
Max Chl Dpth (m)	2.77	Hydr. Depth (m)		1.12	
Conv. Total (m3/s)	6002.1	Conv. (m3/s)		6002.1	
Length Wtd. (m)	75.00	Wetted Per. (m)		245.62	
Min Ch El (m)	2068.00	Shear (N/m2)		246.42	
Alpha	1.00	Stream Power (N/m s)		811.70	
Frctn Loss (m)	1.27	Cum Volume (1000 m3)		223.93	
C & E Loss (m)	0.00	Cum SA (1000 m2)		170.88	

Plan: Plan 01 CHILI 17.06.08 1 RS: 10 Profile: PF 1

E.G. Elev (m)	2069.85	Element	Left OB	Channel	Right OB
Vel Head (m)	0.50	Wt. n-Val.		0.049	
W.S. Elev (m)	2069.35	Reach Len. (m)	74.60	75.00	75.20
Crit W.S. (m)	2069.22	Flow Area (m2)		287.04	
E.G. Slope (m/m)	0.016805	Area (m2)		287.04	
Q Total (m3/s)	901.40	Flow (m3/s)		901.40	
Top Width (m)	221.55	Top Width (m)		221.55	
Vel Total (m/s)	3.14	Avg. Vel. (m/s)		3.14	
Max Chl Dpth (m)	3.35	Hydr. Depth (m)		1.30	
Conv. Total (m3/s)	6953.3	Conv. (m3/s)		6953.3	
Length Wtd. (m)	75.00	Wetted Per. (m)		221.96	
Min Ch El (m)	2066.00	Shear (N/m2)		213.12	
Alpha	1.00	Stream Power (N/m s)		669.26	
Frctn Loss (m)	1.41	Cum Volume (1000 m3)		202.90	
C & E Loss (m)	0.00	Cum SA (1000 m2)		153.37	

Plan: Plan 01 CHILI 17.06.08 1 RS: 15 Profile: PF 1

E.G. Elev (m)	2076.17	Element	Left OB	Channel	Right OB
Vel Head (m)	0.19	Wt. n-Val.		0.049	0.050
W.S. Elev (m)	2075.97	Reach Len. (m)	74.00	75.00	75.80
Crit W.S. (m)	2075.32	Flow Area (m2)		450.49	15.79
E.G. Slope (m/m)	0.006939	Area (m2)		450.49	15.79
Q Total (m3/s)	901.40	Flow (m3/s)		862.80	38.60
Top Width (m)	384.56	Top Width (m)		376.61	7.95
Vel Total (m/s)	1.93	Avg. Vel. (m/s)		1.92	2.44
Max Chl Dpth (m)	3.97	Hydr. Depth (m)		1.20	1.99
Conv. Total (m3/s)	10820.8	Conv. (m3/s)		10357.5	463.3
Length Wtd. (m)	75.02	Wetted Per. (m)		376.75	8.89
Min Ch El (m)	2072.00	Shear (N/m2)		81.37	120.93
Alpha	1.01	Stream Power (N/m s)		155.85	295.60
Frctn Loss (m)	0.57	Cum Volume (1000 m3)		337.19	0.60
C & E Loss (m)	0.00	Cum SA (1000 m2)		273.16	0.30

Plan: Plan 01 CHILI 17.06.08 1 RS: 14 Profile: PF 1

E.G. Elev (m)	2075.59	Element	Left OB	Channel	Right OB
Vel Head (m)	0.22	Wt. n-Val.		0.049	
W.S. Elev (m)	2075.37	Reach Len. (m)	74.90	75.00	75.50
Crit W.S. (m)		Flow Area (m2)		436.85	
E.G. Slope (m/m)	0.008482	Area (m2)		436.85	
Q Total (m3/s)	901.40	Flow (m3/s)		901.40	
Top Width (m)	379.17	Top Width (m)		379.17	
Vel Total (m/s)	2.06	Avg. Vel. (m/s)		2.06	
Max Chl Dpth (m)	2.97	Hydr. Depth (m)		1.15	
Conv. Total (m3/s)	9787.2	Conv. (m3/s)		9787.2	
Length Wtd. (m)	75.00	Wetted Per. (m)		379.80	
Min Ch El (m)	2072.40	Shear (N/m2)		95.68	
Alpha	1.00	Stream Power (N/m s)		197.42	
Frctn Loss (m)	1.04	Cum Volume (1000 m3)		303.91	
C & E Loss (m)	0.02	Cum SA (1000 m2)		244.82	

Plan: Plan 01 CHILI 17.06.08 1 RS: 13 Profile: PF 1

E.G. Elev (m)	2074.53	Element	Left OB	Channel	Right OB
Vel Head (m)	0.44	Wt. n-Val.		0.049	
W.S. Elev (m)	2074.08	Reach Len. (m)	75.00	75.00	75.00
Crit W.S. (m)	2074.08	Flow Area (m2)		305.06	
E.G. Slope (m/m)	0.026494	Area (m2)		305.06	
Q Total (m3/s)	901.40	Flow (m3/s)		901.40	
Top Width (m)	362.76	Top Width (m)		362.76	
Vel Total (m/s)	2.95	Avg. Vel. (m/s)		2.95	
Max Chl Dpth (m)	3.08	Hydr. Depth (m)		0.84	
Conv. Total (m3/s)	5537.9	Conv. (m3/s)		5537.9	
Length Wtd. (m)	75.00	Wetted Per. (m)		363.64	
Min Ch El (m)	2071.00	Shear (N/m2)		217.96	
Alpha	1.00	Stream Power (N/m s)		644.03	
Frctn Loss (m)	1.02	Cum Volume (1000 m3)		276.09	
C & E Loss (m)	0.06	Cum SA (1000 m2)		216.99	

HEC-RAS Plan: Plan 01 River: CHILI 17.06.08 Reach: 1 Profile: PF 1

Reach	River Sta	Q Total	Min Ch El	W.S. Elev	Crit W.S.	E.G. Elev	E.G. Slope	Vel Chnl	Flow Area	Top Width	Froude # Chl
		(m3/s)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m/m)	(m/s)	(m2)	(m)	
1	15	901.40	2072.00	2075.97	2075.32	2076.17	0.006939	1.92	466.28	384.56	0.56
1	14	901.40	2072.40	2075.37		2075.59	0.008482	2.06	436.85	379.17	0.61
1	13	901.40	2071.00	2074.08	2074.08	2074.53	0.026494	2.95	305.06	362.76	1.03
1	12	901.40	2069.50	2072.07		2072.32	0.008289	2.22	406.13	310.87	0.62
1	11	901.40	2068.00	2070.77	2070.77	2071.32	0.022554	3.29	273.66	245.32	1.00
1	10	901.40	2066.00	2069.35	2069.22	2069.85	0.016805	3.14	287.04	221.55	0.88
1	9	901.40	2065.00	2067.95	2067.90	2068.45	0.021069	3.15	286.36	261.18	0.96
1	8	901.40	2063.70	2067.05		2067.42	0.009061	2.70	333.84	203.52	0.67
1	7	901.40	2062.20	2065.84	2065.84	2066.37	0.023621	3.22	279.70	268.27	1.01
1	6	901.40	2060.80	2064.01	2064.01	2064.57	0.022989	3.30	273.47	248.41	1.00
1	5	901.40	2059.30	2063.17		2063.41	0.005900	2.16	417.62	255.95	0.54
1	4	901.40	2057.85	2061.78	2061.78	2062.59	0.021268	3.99	225.73	143.77	1.02
1	3	901.40	2057.85	2060.32	2060.17	2060.66	0.014525	2.59	347.90	320.71	0.79
1	2	901.40	2055.00	2058.51	2058.51	2059.33	0.020194	4.03	223.59	135.30	1.00
1	1	901.40	2053.50	2057.64	2057.04	2057.98	0.007503	2.60	347.25	194.08	0.62

